RÉSULTATS

DES

CAMPAGNES SCIENTIFIQUES

DU

PRINCE DE MONACO

Ce Fascicule a été publié et le dépôt fait au Gouvernement à Monaco

le 30 Juin 1930

LIBRARY
FISH & WILDLIFE SERVICE
PACIFIC OCEANIC FISHERY
INVESTIGATIONS

RÉSULTATS

DES

CAMPAGNES SCIENTIFIQUES

ACCOMPLIES SUR SON YACHT

PAR

ALBERT Ier

PRINCE SOUVERAIN DE MONACO

PUBLIÉS SOUS SA DIRECTION

AVEC LE CONCOURS DE

M. JULES RICHARD

Docteur ès-sciences, chargé des Travaux zoologiques à bord

FASCICULE LXXXI

Teneur en radium des dépôts de mer profonde

(PRINCESSE-ALICE II et CHALLENGER)

Par HANS PETTERSSON

IMPRIMERIE DE MONACO

1930

TENEUR EN RADIUM

DES

DÉPÔTS DE MER PROFONDE

(PRINCESSE-ALICE II ET *CHALLENGER)*

TENEUR EN RADIUM

DES

DÉPÔTS DE MER PROFONDE

(PRINCESSE-ALICE II ET *CHALLENGER)*

Par HANS PETTERSSON [1]

INTRODUCTION

La découverte des phénomènes de radioactivité a eu des effets révolutionnaires non seulement sur la physique et sur la chimie, mais elle a encore, à un haut degré, modifié nos conceptions fondamentales dans le domaine des sciences géophysiques. Nos vues sur l'origine de la chaleur interne du globe et sur l'état physique qui prévaut à de grandes profondeurs au-dessous de sa surface, ont été radicalement changées en considérant la chaleur dégagée par de petites quantités d'uranium, de thorium, de potassium et d'autres éléments radioactifs qui se trouvent dans la plupart, sinon dans la totalité des roches et des minéraux. L'âge de maintes formations géologiques peut être, maintenant, déterminé avec un degré considérable de certitude, par la mesure des quantités de produits de désintégration, hélium et radium-plomb, que ces formations contiennent. Les résultats de telles déterminations de leur âge, ont écarté toutes les objections de la part des physiciens à l'immensité des temps demandés par les géologues et les paléontologistes, qui ont trouvé entièrement justifiées leurs vues sur la grande antiquité des restes fossiles et des formations géologiques. Finalement, nos conceptions sur les forces qui forment et déforment la surface de la terre ont été profondément influencées par la reconnaissance des immenses quantités de chaleur d'origine radioactive qui, au cours de millions d'années, peuvent avoir été accumulées à la limite ou au-dessous de cette limite inférieure de la croûte superficielle et qui peuvent causer une instabilité nouvelle de cette croûte, notamment du fond de l'océan. Des géologues

[1] Traduit de l'anglais par le Dr JULES RICHARD.

éminents de notre époque inclinent à considérer la chaleur radioactive comme un facteur important, sinon principal, de construction et de destruction, dans le passé de notre planète [1].

Quant à l'atmosphère, l'état d'ionisation qui prévaut dans ses couches inférieures, est grandement dû aux radiations radioactives d'uranium et de thorium, éléments contenus dans les couches superficielles de la croûte terrestre, et à la présence dans l'air de petites quantités d'émanation de radium et de thorium s'échappant de ces substances. Dans l'océan il y a une large distribution de petites quantités de radium dans les eaux de surface, mais ici il y a encore un considérable degré d'incertitude sur les quantités actuellement présentes [2]. La quantité relativement grande d'émanation trouvée dans l'air au-dessus du milieu de l'océan ne peut guère être expliquée que comme un produit du radium dissous dans les couches superficielles. A la limite inférieure de l'océan, c'est-à-dire au-dessus du fond de la mer, du radium a été trouvé présent en quantités qui, dans certains cas, sont dix fois plus grandes que celles contenues dans la plupart des roches continentales. C'est spécialement le cas pour la zone abyssale, c'est-à-dire à des profondeurs dépassant 5000 mètres, profondeurs qui n'occupent pas moins de 17 % de toute la surface de notre planète. L'origine de ce radium est vraiment obscure, mais elle ajoute considérablement à l'embarras de richesse [3] éprouvé par les géologues mis en présence de ce fait, que déjà une radioactivité aussi élevée que celle des matériaux de la surface continentale, si elle était distribuée uniformément à l'intérieur de la terre, correspondrait à un courant géothermique environ cent fois plus intense que celui qui a été trouvé d'après les mesures effectuées.

Actuellement nos connaissances sur la radioactivité des sédiments abyssaux sont vraiment maigres, les seuls résultats importants publiés jusqu'ici sont ceux du Professeur J. Joly, qui a mesuré la teneur en radium et thorium dans trois échantillons d'argile rouge et dans deux échantillons de vase à radiolaires [4]. Les valeurs obtenues, qui seront reproduites plus loin, étaient tellement élevées qu'elles indiquaient pour les sédiments abyssaux une teneur moyenne de cinq à vingt fois plus haute que la teneur moyenne pour les roches continentales. Il paraissait donc très désirable de faire de nouvelles mesures analogues sur d'autres échantillons de semblables sédiments. En outre, il ne semblait pas impossible que de telles recherches pouvaient projeter de la lumière sur l'origine du radium sous-marin et peut-être aussi donner un guide pour établir une chronologie des dépôts de mer profonde, un des plus difficiles problèmes du domaine de l'Océanographie.

[1] C. Kirsch, *Geologie und Radioaktivität*, p. 59, Springer 1928.

[2] J. Joly, Phil. Mag. (6) 18 p. 396 ; 1909 et S. Eve, ibid. p. 102.

[3] Comparez l'instabilité thermique que Schulz a trouvé prévaloir dans certaines profondeurs dépassant 6000 mètres, Ann. d. Hydrogr. 1919, p. 98, récemment confirmée par Wust, Veroff. d. Instit. Meereskunde N. F. A. Geogr. Naturw. Reihe H. 20, Berlin 1929.

[4] J. Joly, Phil. Mag. (6) 16, p. 190, 1908, et ibid. 24 p. 694, 1912.

En 1912, l'auteur avait le privilège de prendre part à une courte croisière dans la mer du Nord à bord du *MICHAEL SARS* avec feu Sir John Murray et son collaborateur le Dr Johan Hjort. Au cours de nos conversations pendant cette croisière, Sir John émit ses vues personnelles sur l'origine du radium sous-marin, vues qui sont rapportées plus loin, et il suggérait à l'auteur de soumettre la grande collection de dépôts de mer profonde du *CHALLENGER* à une analyse générale au point de vue du radium. L'urgence d'autres travaux m'obligèrent alors à décliner cette offre, et ce n'est qu'environ dix ans plus tard que l'occasion d'entreprendre des recherches de ce genre se présenta pour moi.

A cette époque Sir John Murray était mort et ses collections étaient passées en d'autres mains. Je m'adressai alors aux autorités du Musée Océanographique de Monaco où est conservée une magnifique collection de dépôts sous-marins de l'Atlantique Nord accumulés par feu le Prince Albert Ier, pour obtenir l'autorisation d'étudier quelques échantillons au point de vue de leur teneur en radium. Par la gracieuse permission du Prince et la courtoisie du directeur du Musée, le Docteur Richard, plusieurs des plus intéressants échantillons de cette collection furent mis à ma disposition et en outre des facilités pour leur étude me furent généreusement offertes au Musée. Je désire exprimer ici ma plus sincère gratitude à M. Richard et aux membres de son personnel pour leur grande courtoisie et l'aide efficace qu'ils m'ont apportées pendant et après mon séjour à Monaco.

Après avoir soumis à un travail chimique la plupart des échantillons choisis pour cette étude, il devint nécessaire pour moi de compléter cet examen dans un institut spécialement adapté pour les mesures de radioactivité. C'est pourquoi je transférai mon travail à Vienne où je m'adressai au Professeur St. Meyer, directeur de l'Institut für Radiumforschung et à son collègue le Professeur H. Mache du second Institut de Physique de l'École supérieure technique, deux des plus grands experts en mesures de radioactivité, qui ont fait tout ce qui était en leur pouvoir pour me faciliter ces recherches. Comme l'Institut du Radium lui-même, à cause de la présence dans ses bâtiments de préparations fortement radioactives, ne convenait pas pour des mesures sur des échantillons de faible radioactivité, le matériel à étudier ne put être apporté dans son enceinte. Des mesures préliminaires faites dans le bâtiment annexe du second Institut de Physique de l'Université, dont le directeur, M. le Professeur Jäger, mit à ma disposition les laboratoires et les instruments, donnèrent des résultats trop variables, dûs aux radiations pénétrantes et à l'émanation s'échappant de l'Institut du Radium qui, à certains moments, faisaient monter la conductivité de l'air à des valeurs anormales. C'est pourquoi les mesures définitives furent faites dans l'Institut du Prof. Mache à l'École technique supérieure, où aucun matériel radioactif n'avait pénétré et où les mesures les plus soigneuses qui aient été faites jusqu'ici ont été exécutées sur des radioactivités très faibles. C'est un plaisir pour moi d'exprimer ma très grande dette de reconnaissance à ces hommes de science et aussi aux membres de leur personnel pour leur généreuse assistance et leurs précieux avis.

Dans le cours de ce travail il apparut très désirable d'examiner aussi quelques échantillons de l'Atlantique Sud et du Pacifique. Grâce à l'aimable recommandation de M. Jack Murray j'obtins la permission de travailler, au point de vue du radium, sur quelques échantillons du *CHALLENGER*. Mes sincères remerciements vont aux autorités du Musée d'histoire naturelle, à S. Kensington, où sont conservées les collections du *CHALLENGER*, particulièrement à son Conservateur pour la Zoologie, le Dr I. D. Calman, qui m'a envoyé à plusieurs reprises des échantillons pour analyse.

Enfin je dois beaucoup aux autorités de l'École supérieure de Göteborg pour les divers congés qui m'ont permis de poursuivre mes recherches à Monaco et à Vienne et pour la permission d'employer à ces études les fonds réservés à mon institution pour les recherches expérimentales.

Le Radium sous-marin et son origine.

Tandis qu'un très grand nombre de roches continentales, de sols et de minéraux ont été analysés au sujet du radium, les dépôts sous-marins examinés jusqu'ici, à ce point de vue, sont très peu nombreux. Les seules mesures publiées [1] sont celles faites par le Prof. J. Joly [2] sur quinze échantillons, la plupart de la collection du *CHALLENGER* et quelques autres provenant de l'*ALBATROSS*. Parmi les résultats, qui sont donnés au tableau I de ce mémoire, seulement cinq concernent les sédiments abyssaux proprements dits, c'est-à-dire l'argile rouge et la vase à radiolaires, qui couvrent quelques 100 et 10 millions de kilomètres carrés, respectivement, du sol des océans. Ainsi, pour une surface pas beaucoup moindre que l'ensemble des surfaces des cinq continents, seulement cinq échantillons ont eu leur teneur en radium déterminée. Il faut ajouter à cela que les données originales de Joly pour la teneur moyenne en radium, données dans la sixième colonne en billionièmes de gramme de Ra par gramme de sédiment, montrent que la teneur en radium des sédiments abyssaux est de cinq à vingt fois plus grande que la moyenne trouvée dans les roches ignées. Quant aux sédiments calcaires, dans la première moitié du tableau, le plus commun d'entre eux, la vase à globigérines, contient beaucoup moins de radium que les sédiments abyssaux, la moyenne pour les cinq plus profonds échantillons de vase à globigérines étant de 7,0 unités. Enfin deux échantillons de nodules manganésifères, concrétions spéciales de MnO^2, qui sont typiques pour les très grandes profondeurs, ont été analysés au point de vue du radium ;

[1] En 1910, A. Gockel a publié des mesures faites par lui sur l'ionisation due aux radiations de quatre échantillons de la collection de Monaco, Jahrb. d. Rad. und Elektron. Bd VII, p. 487, 1910. Comme les mesures ont été faites avec une méthode donnant seulement des valeurs relatives et sujette à des causes d'erreurs variées, les résultats, dont il sera fait mention plus loin, n'ont pas besoin d'être examinés ici.

[2] Loc. cit.

les résultats donnés à la fin du tableau I montrent une teneur en radium exceptionnellement élevée.

Les résultats figurant dans la sixième colonne du tableau I, qui ont été publiés par Joly en 1908, ont été obtenus par la méthode classique généralement employée pour les mesures de faible radioactivité et connue comme « méthode de solution » qui sera décrite dans un chapitre ultérieur ; quatre ans plus tard, des échantillons de quelques-uns des mêmes sédiments furent mesurés encore par Joly, mais cette fois par une méthode différente, développée par lui-même et connue sous le nom de « méthode de fusion ». Les résultats de cette nouvelle analyse, inscrits dans la dernière colonne du tableau I, étaient de beaucoup plus bas que ceux obtenus précédemment. Ainsi la teneur moyenne en radium de quatre échantillons de vase à globigérines, qui, d'après les profondeurs maxima et minima, peuvent être identifiés comme les quatre plus profonds sédiments du tableau I, était seulement de 3,3 au lieu de 7,0, réduction de plus de 50 %. Pour deux spécimens de vase à radiolaires, qui, à en juger d'après les profondeurs données, doivent provenir des mêmes stations que celles du tableau I, la teneur moyenne en radium était de 13,1 au lieu de 36,3. Enfin pour un échantillon d'argile rouge la nouvelle valeur trouvée par la méthode de fusion était de 11,0 au lieu de 52,6, réduction à un cinquième.

TABLEAU I.

Station	Lat.	Long. Gr.	Profondeur en mètres	Sédiment	Ra. 10^{-12}	Moyenne	Méthode de fusion
Chall. 45	38° 34' N	72° 10' W	2268	Vase bleue	3.1		
Kemp.	51° 37' N	12° 10' W	1040	Vase à globigérines	6.6		
Chall. 296	38° 06' S	88° 02' W	3338	—	7.4		
Chall. 338	21° 13' S	14° 02' W	3640	—	6.7	7.0	3.3
Chall. ?	48° 17' N	39° 49' W	4560	—	7.0		
Alb. 4739	22° 11' S	133° 21' W	3735	—	7.1		
Alb. 4531	21° 04' S	133° 01' W	4069	Vase calcaire	22.2		
Alb. 4544	10° 38' N	105° 47' W	3575	Argile rouge	13.0		
Chall. 5	24° 20' N	24° 28' W	5010	—	15.4	27.0	
Chall. 276	24° 28' N	149° 30' W	4298	—	52.6		11.0
Chall. 272	2° 48' S	152° 56' W	4755	Vase à radiolaire	22.8	36.6	13.1
Chall. 274	7° 25' S	152° 15' W	5030	—	50.3		
Chall. 274	—	—	—	Nodule manganésifère	24.0		
Alb. 4658	8° 29' S	85° 36' W	4334	—	21.0		
Chall. 241	35° 41' N	157° 42' E	4206	Sphérules magnétiques	0.6		

Dans tous les autres cas les résultats de Joly obtenus par la méthode de fusion dépassent considérablement ceux qu'il a trouvés par la méthode de solution avec des matériaux identiques ; dans certains cas l'écart s'élève à 50 % ou plus. Pour cette raison Joly considère la méthode de fusion comme plus efficace pour chasser toute l'émanation des substances analysées et déclare sa préférence pour les valeurs plus élevées comme plus correcte. Il paraît remarquable que, dans le cas des sédiments, l'inverse doit se produire, la méthode de fusion donnant seulement une fraction des nombres trouvés par la méthode de solution. Néanmoins Joly considère celle-ci et ses valeurs plus basses comme plus dignes de confiance et base ses futurs calculs sur cette hypothèse. Pour des raisons qui seront exposées dans la suite, l'auteur de ce mémoire ne peut partager cette opinion, pensant que pour les sédiments la méthode de fusion est apte à donner des valeurs plus basses pour la teneur en radium que celle actuellement présente dans l'échantillon. Les grandes différences qu'on voit exister entre les deux séries de valeurs (trouvées par le même auteur au moyen de méthodes différentes) pour la teneur en radium dans les quelques dépôts de mer profonde analysés, montrent nettement le besoin de nouvelles investigations. Toutefois, même si nous acceptons les nombres inférieurs du dernier mémoire de Joly comme corrects, la radioactivité des sédiments abyssaux se montre exceptionnellement élevée. Cela fait surgir la question d'où le radium abyssal peut être supposé avoir son origine comme un des plus saillants problèmes de la géologie sous-marine.

Les sédiments s'accumulant sur le fond de l'océan proviennent principalement de l'une ou de l'autre de deux sources, les débris des roches continentales amenés à la mer par les rivières et conduits plus loin par les courants et les débris d'organismes, surtout de ceux de taille microscopique, qui vivent dans les couches superficielles de la mer et qui tombent sur le fond après leur mort. Le premier matériel forme la masse des sédiments terrigènes déposés près des côtes dans les eaux peu profondes et plus loin sur le plateau continental ; la vase bleue est le plus commun sédiment de ce type. Les matériaux d'origine organique font encore des sédiments calcaires et siliceux dans la mesure où ces substances entrent dans la composition des squelettes ou des coquilles des organismes morts et qui s'accumulent sur la zone considérée. Suivant l'espèce planctonique qui domine dans le sédiment, celui-ci est appelé vase à globigérines, vase à ptéropodes, ou dans le cas des sédiments siliceux, vase à diatomées ou vase à radiolaires. La vase à globigérines occupe de beaucoup les plus grandes étendues, spécialement dans l'Atlantique. La surface totale couverte par la vase à globigérines égale, d'après Andrée[1] 128,5 millions de kilomètres carrés, soit environ un quart de la surface totale de la terre.

[1] Geologie des Meeresbodens, Leipzig 1920, p. 554.

Dans les très grandes profondeurs les dépôts contiennent beaucoup moins de substances calcaires que jusque vers environ 4000 mètres. Le sédiment typique de la vaste plaine abyssale est appelé argile rouge. Il n'y a pas de limite tranchée entre ce sédiment et la vase à globigérines, l'un passant à l'autre à mesure que la teneur en calcaire augmente graduellement. Murray et Renard, dans leur grand ouvrage sur les Dépôts de mer profonde, tracent la ligne limite à 30 % de carbonate de calcium, tandis que les échantillons les plus profonds d'argile rouge contiennent seulement des traces de chaux ou même pas du tout. D'autre part, maints sédiments d'argile rouge typique, trouvés quelquefois dans de très grandes profondeurs, contiennent des débris d'organismes siliceux, notamment des radiolaires, qui donnent leur nom à un sédiment contenant plus de 30 % de restes de ces organismes, le résidu étant de l'argile rouge typique.

L'origine de l'argile rouge est très obscure, quoique l'auteur penche pour l'opinion de Murray qu'elle provient principalement de la décomposition de roches volcaniques. L'élément principal est un silicate d'alumine hydraté, base de l'argile ordinaire. Il paraît probable que dans maintes argiles rouges entrent dans une certaine mesure des matières dérivées des continents. La très fine poussière, amenée au-dessus de la mer par les vents, peut rester suspendue dans l'air pendant des semaines ou des mois, avant de tomber dans les couches superficielles agitées des océans, où elle peut être entraînée plus loin en mer par les courants. On peut en dire autant à plus forte raison, de la plus fine poussière volcanique qui, après de grandes éruptions, peut rester suspendue dans les hautes couches de l'atmosphère pendant des mois, mais qui finalement tombe aussi sur la surface des océans. Les produits volcaniques d'îles ou de volcans sous-marins sont un élément commun dans la plupart des échantillons d'argile rouge, spécialement dans ceux du Pacifique. Le fer et le manganèse, d'où vient leur couleur caractéristique, sont probablement aussi d'origine magmatique, une petite portion du fer étant peut-être d'origine cosmique. Des composants sans aucun doute d'origine extra-terrestre sont les petites sphérules magnétiques trouvées en petits nombres dans les plus profonds sédiments, et qui peuvent être considérées comme des gouttelettes lancées ou condensées par des météorites portées à l'incandescence dans l'atmosphère. Enfin l'argile rouge contient des minéraux secondaires dûs aux réactions chimiques avec l'eau de mer, comme la glauconie, la philippsite, etc. Un des quelques faits concernant l'argile rouge qui est généralement reconnu, c'est l'extrême lenteur avec laquelle elle s'accumule, ce que prouvent les fossiles ramenés de sa surface par la drague. Une contribution aux discussions concernant l'origine probable de l'argile rouge sera donnée dans un autre mémoire.

Théoriquement, le radium trouvé dans les sédiments abyssaux peut être venu d'une des différentes sources mentionnées. Une origine extra-terrestre, telle qu'elle a été d'abord suggérée par Sir John Murray, a été réfutée par l'analyse faite par Joly de la teneur en radium des sphérules magnétiques, qui a donné une valeur

extrêmement basse, (voir dernière ligne du tableau I). Des recherches ultérieures sur la teneur en radium des météorites, faites à l'instigation [1] du Professeur Mache, ont prouvé qu'elles sont si exceptionnellement pauvres en matière radioactive, que les mesures exigent tous les raffinements de la méthode établie par cette autorité.

L'explication de l'origine du radium sous-marin qui paraît actuellement généralement adoptée est celle défendue par Joly, pour qui le radium des sédiments sous-marins est d'origine clastique et provient de la dénudation des roches continentales [2].

Joly qui, contrairement à plusieurs autres auteurs, prétend que le sodium dissous dans l'océan est aussi un produit de la dénudation, a essayé de calculer l'âge des océans par l'estimation de la quantité de sodium apporté par les rivières [3]. Des calculs semblables l'ont amené à admettre que, du radium présent dans les roches ignées, qu'on estime contenir une moyenne de 2,5 unités, soixante pour cent ont été amenés à l'océan par leur dénudation, le reste entrant dans les roches sédimentaires. En supposant que les roches ignées dénudées depuis la naissance des océans ont eu une masse totale de $84{,}3.10^{16}$ tonnes, la quantité totale de radium apporté à la mer se trouve être de $1{,}264.10^{12}$ grammes, soit un million et quart de tonnes. D'autre part Joly estime que les sédiments terrigènes répandus sur le fond de l'océan ont un poids total de $19{,}5.10^{16}$ tonnes. La quantité ci-dessus de radium, moins celle qui reste dissoute dans l'eau de mer, doit être entrée dans ces sédiments et, puisque la quantité de radium restant en solution est relativement peu importante, la teneur moyenne des sédiments océaniques, si elle est uniformément distribuée, doit, d'après Joly, équivaloir à environ six billionièmes de gramme par gramme, 6.10^{-12}.

La quantité de radium présente dans l'eau de mer a été mesurée par Joly et par A. S. Eve [4], avec de considérables différences dans les résultats. Le premier auteur a trouvé, pour quinze échantillons d'eau de surface de l'Atlantique et de l'Océan Indien, une teneur moyenne de $0{,}017.10^{-12}$ de gramme de radium par gramme d'eau de mer. Si l'on ne tient pas compte de quelques échantillons d'eau de la côte présentant une haute radioactivité anormale, la moyenne est réduite à 0,011 unités. Eve, cependant, trouve moins de un dixième de cette valeur par des mesures de l'eau de surface entre Liverpool et Montréal. Joly, critiquant la technique suivie par Eve, trouve que sa valeur plus élevée est appuyée par les résultats des mesures de W. Knoche [5] de la teneur en émanation de radium d'échantillons frais d'eau de mer de surface, recueillis dans un voyage de l'Atlan-

[1] Grete Halledauer, Ber. Wien Ak. IIa 134 Bd, Mitt. Ra. Inst. 175, p. 39, 1925.

[2] Voir Andrée, Geologie des Meeresbodens, II Bd, p. 464, qui exprime aussi l'opinion que le radium subocéanique peut être d'origine volcanique.

[3] J. Joly, Radioactivity and Geology, p. 56. Constable. London 1909.

[4] Loc. cit.

[5] Phys. Zeit. 10, p. 157, 1909 ; ibid. 13, p. 112, 1912.

tique au Pacifique par le détroit de Magellan, échantillons qui donnèrent $0{,}044.10^{-12}$ curies par gramme d'eau de mer. Des mesures récentes dans le Pacifique ont donné moins de la moitié de cette valeur, soit $0{,}018.10^{-12}$ curies-gramme [1]. Joly, dans ses derniers calculs, adopte une estimation plus prudente pour la teneur en radium dissous dans l'océan, soit $0{,}004.10^{-12}$ gr. Ra par gramme d'eau de mer et trouve que le poids total de radium dissous dans les $1{,}32.10^{18}$ tonnes d'eau de l'océan est de $5{,}3.10^{9}$ grammes, soit moins de un deux-centième de tout le radium rendu libre par dénudation.

En supposant que le radium amené à l'océan est répandu sur le fond abyssal dans un état de concentration plus élevé qu'ailleurs, comme le prouvent les données numériques du tableau I, cela peut être difficilement expliqué, si on suppose qu'il est resté non dissous pendant le transport, car il n'y pas de raison physique apparente pour que les matières plus riches en radium soient capables de pénétrer si loin en mer plutôt que la matière non radioactive, répandue sur le plateau continental comme sédiments terrigènes. On doit donc admettre que le radium arrive dissous dans l'eau de mer, et qu'ensuite il est déposé sur le fond par quelque processus physique, chimique ou biologique. Maintenant, le moins soluble des composants inorganiques du radium est son sulfate, qui doit avoir sa solubilité encore plus réduite, grâce à la présence d'un grand excès d'ions SO_4. Néanmoins, même si nous acceptons la plus haute moyenne de Joly pour le radium présent à la surface de l'océan, soit $0{,}017.10^{-12}$ gr. Ra par gramme d'eau de mer, cette concentration tombe certainement des milliers de fois au-dessous du point de saturation auquel un précipité de sulfate de radium commence à se former dans l'eau de mer. Pour des raisons semblables, il paraît très peu probable qu'à cette extrêmement faible concentration un processus physique ou chimique puisse être responsable de l'apport du radium dissous sur le fond (en exceptant peut-être une adsorption à d'autres précipités inorganiques qui peuvent se produire au milieu des eaux de l'océan). Des processus biologiques restent alors comme les seuls plus plausibles moyens de produire son extraction.

Un processus de concentration d'autres éléments (présents en très petites quantités dans l'eau de mer) dans les tissus d'organismes marins n'est rien moins qu'exceptionnel. La précipitation de composés de silice sous forme de squelettes d'organismes siliceux morts est un exemple de processus semblable se produisant sur une grande échelle. Mais aussi d'autres éléments sont connus pour exister dans l'eau de mer en concentration extrêmement faible, comme le cuivre, l'argent et le plomb, ils sont extraits par divers organismes marins, tels que certaines espèces de Fucus et aussi par certains coraux. Joly, dans un de ses mémoires [2], déclare comme étant sa façon de voir, qu'une sorte de précipitation du radium est produite

[1] Voir J. Laub, Phys. Zeit. 14, p. 81, 1913.
[2] Phil. Mag. (6) xvi, p. 195, 1912.

par des organismes vivants, qui l'emportent en bas au fond de la mer avec les détritus organiques calcaires. Comme on sait que ces derniers sont plus ou moins complètement redissous au niveau de l'argile rouge, la matière active peut rester non dissoute, rendant ainsi complet le processus de concentration recherché. Le radium devrait, d'après cette vue, rester comme un résidu non dissous des détritus organiques. Là où ce processus de dissolution n'existe pas, comme dans la vase à globigérines, la concentration doit rester beaucoup plus faible, comme l'analyse l'indique dans le tableau I. Toutefois, dans son livre « Radioactivity and geology »[1] cité plus haut, Joly lui-même donne un argument contre cette vue : en se rapportant à la teneur vraiment basse de radium dans les sables de coralliaires et dans les coquilles d'huîtres, indiquant que quand la chaux est extraite d'un poids d'eau de mer 50000 à 75000 fois plus grand que celui de l'animal lui-même, il n'y pas une extraction proportionnelle de la quantité de matière active supposée exister dans l'eau de mer.

Le processus biologique par lequel la radioactivité apportée dans l'océan peut être transférée au sol sous-marin reste donc inconnu. Mais il y a à considérer une sérieuse complication si ce processus d'extraction est accepté comme la source du radium sous-marin. Jusqu'ici nous avons seulement discuté ce qui arrive au radium dissous dans l'eau de mer. Une précipitation de cet élément seul, sans ses parents uranium et ionium, amènerait avec le temps un déclin de l'activité des dépôts du fond, le radium se désintégrant de 50 % en 1580 ans. Il y a d'autre part de très fortes raisons d'admettre que la vitesse d'accumulation des sédiments abyssaux est très faible, faible même en comparaison de la vitesse avec laquelle le radium diminue. De l'hypothèse d'une précipitation du radium seul il suit que les dépôts doivent montrer une diminution progressive de leur activité à mesure que leur âge croît, c'est-à-dire avec « la profondeur » croissante sous la surface libre du dépôt. Dans le cas extrême où ni uranium ni ionium n'est précipité, la vitesse à laquelle le dépôt s'accumule peut être exactement déterminée en mesurant la rapidité avec laquelle la teneur en radium tombe dans les différentes couches d'après leur « profondeur ». Ce n'est que dans le cas plutôt improbable où l'uranium et l'ionium seraient extraits et précipités avec le radium dans les mêmes proportions que celles qui caractérisent l'état d'équilibre radioactif, c'est-à-dire 3.10^6 atomes de U et 50 à 60 d'Io pour chaque atome de Ra, ce n'est que dans ce cas, dis-je, que le sédiment serait en équilibre radioactif et que son activité serait indépendante de son âge. Toute déviation de ces proportions mènerait à une diminution ou à une augmentation de la teneur en radium de la surface du dépôt et vers le bas, jusqu'à ce qu'une valeur constante soit atteinte d'une certaine « profondeur » et vers le bas, correspondant à l'état d'équilibre radioactif. Le cas extrême, où seul le radium est précipité est réfuté par le fait que, dans les échantillons d'argile

[1] Loc. cit. p. 51.

rouge à la surface de laquelle on a trouvé des fossiles indiquant une accumulation extrêmement lente, la teneur en radium est aussi élevée que l'analyse l'indique dans le tableau I. En supposant que cette activité est due à la fraction survivante d'une teneur originale en radium, il faut assigner à celle-ci une valeur extrêmement élevée.

Joly, naturellement, connaît cette conséquence de l'hypothèse de la précipitation et considère apparemment l'état d'équilibre radioactif entre l'uranium et le radium comme prévalant dès la précipitation dans l'argile rouge. (L'élément ionium qui intervient venait d'être découvert). Joly cite aussi une communication du Prof. Werner de Trinity College, par qui l'uranium présent dans l'échantillon de 8.42 gr. d'argile rouge du *CHALLENGER*, Station 276, a été estimé au moyen de la méthode colorimétrique de 0,0006 à 0,0007 gr., c'est-à-dire plutôt plus de la moitié de la valeur théorique pour l'uranium, en équilibre radioactif avec le radium trouvé par Joly dans sa première analyse. Joly ajoute que la séparation de l'uranium était probablement incomplète. Comparé aux résultats de la seconde analyse de Joly du même échantillon par la méthode de fusion, le résultat de Werner montrerait un excès d'uranium d'environ 150 % au-dessus de la quantité correspondant à l'équilibre.

En résumé, nous pouvons dire que, dans le cas où le radium contenu dans l'argile rouge viendrait du radium continental dissous dans l'eau de mer, nous devons ou bien admettre qu'une quantité correspondante d'uranium (et d'ionium) a été précipitée avec le radium dans la proportion de l'équilibre radioactif [1] ou bien nous devons croire que la radioactivité du sédiment varie avec son âge, qui cause une diminution ou une augmentation de son activité avec une « profondeur » croissante. Si on admet que la vitesse avec laquelle l'argile rouge s'accumule est extrêmement faible, soit un millimètre pour mille ans, alors la couche superficielle à teneur variable en radium peut être limitée à une fraction de centimètre pour l'épaisseur.

La quantité d'uranium dissous dans l'eau de mer qui serait en équilibre radioactif avec la plus haute moyenne de Joly pour le radium en état de solution serait de 0,05 millionièmes de gramme par gramme d'eau de mer, concentration pour laquelle il n'y a probablement dans la mer aucun processus chimique ou physique capable de précipiter cet élément.

Dans tous les cas, la possibilité qu'un fractionnement du radium de ses éléments apparentés participe d'une façon ou d'une autre à sa précipitation hypothétique, paraît demander un examen différentiel des dépôts de mer profonde, avec l'intention de trouver jusqu'à quel point leur teneur en radium varie régulièrement, d'une façon ou d'une autre, avec la « profondeur » croissante au-dessous

[1] M. Hess, dans un important mémoire (Sitzungsber. Akad. Wissensch. Wien, II a, 127 Bd 8 Heft, Mitt. Ra. Inst. 112, 1918) est aussi arrivé à cette conclusion.

de la surface du sol. Cela peut ouvrir une voie pour obtenir une chronologie exacte du fond de la mer au moyen de mesures de radioactivité, possibilité qui, quoique très vague, a été un des motifs des présentes recherches [1].

Sir John Murray, dans le livre « Depths of the Ocean » qu'il a publié avec le Dr J. Hjort, paraît accepter l'opinion de Joly que le radium sous-marin s'accumule par quelque lent mais régulier processus de dépôt (voir p. 171). Toutefois, dans ses conversations avec l'auteur en 1912, pendant la croisière déjà citée, Murray discuta aussi la possibilité que le radium des dépôts de mer profonde puisse être d'origine volcanique. En analysant un suffisamment grand nombre de tels sédiments pour le radium, et en traçant les isogrammes d'égale activité sur des cartes des océans, il estimait qu'on peut localiser les cratères des volcans sous-marins d'où la matière radioactive a été expulsée. Dans l'opinion de l'auteur, les résultats de la présente étude, quoiqu'elle soit basée sur un nombre d'échantillons beaucoup plus restreint que ce qu'il avait été projeté d'abord, confirme fortement l'opinion de Murray, que le radium trouvé dans les échantillons les plus actifs d'argile rouge et de vase à radiolaires provient principalement sinon exclusivement de volcans, et très probablement, de volcans sous-marins, dont l'activité passée a laissé tant d'autres traces sur le rouge tapis qui couvre le sol du plus profond océan.

Plan de recherches.

Le but de la présente étude est double : d'abord augmenter nos connaissances sur le radium abyssal en mesurant sa teneur dans des échantillons d'argile rouge et de vase à radiolaires aussi soigneusement que possible au moyen d'une méthode reconnue capable de déterminer si l'argile rouge est *per se* douée d'une radioactivité exceptionnellement élevée, comme les mesures de Joly semblent l'indiquer ; ensuite, trouver par une analyse des différentes couches de quelques échantillons typiques, si la teneur en radium varie avec l'âge du sédiment, c'est-à-dire avec sa distance verticale (ou « profondeur ») au-dessous de la surface libre, où les sédiments nouveaux s'accumulent, et dans ce cas, si ses variations ont un caractère régulier.

Le premier objet ne demande pas de conditions techniques spéciales pour la récolte des échantillons, mais seulement que ceux-ci proviennent de grandes profondeurs. Le second objet, d'autre part, ne peut être atteint qu'au moyen d'échantillons cylindriques pris au moyen d'un tube sondeur (Fig. 1) et conservés intacts. Des échantillons de ce genre sont extrêmement rares.

[1] Des espoirs dans cette direction ont été récemment exprimés dans une courte note par W. Hirschi, Schweiz. Mineralog. u. Petrogr. Mitteilungen, Bd. viii, H. 1, 1928, qui admet que le radium est précipité de l'eau de mer à l'état de sulfate, l'uranium restant en solution.

Dès le début, l'auteur avait l'intention d'étendre le champ de ses recherches, de façon à comprendre non seulement des mesures du radium, mais aussi du thorium présent dans les dépôts. C'était aussi son intention d'étudier les sédiments accumulés dans les profondeurs moyennes et même dans les eaux côtières. L'étude de la teneur en thorium, toutefois, implique une technique spéciale, étant donnée la très rapide diminution de l'émanation du thorium, la demi-période étant de 54,5 secondes, tandis qu'elle est de 3,8 jours pour l'émanation du radium. En outre, le traitement et les mesures d'un grand nombre d'échantillons exigent beaucoup de temps et de travail, de sorte que, d'autres travaux intervenant, le programme initial a dû être réduit. La publication des résultats déjà obtenus a été différée d'une année à l'autre, à cause de l'extension du plan projeté. L'auteur a maintenant décidé de publier les résultats obtenus jusqu'ici, espérant que de futures occasions se présenteront de continuer les recherches suivant le plan indiqué.

Des deux objectifs mentionnés le second, relatif à une analyse différentielle d'échantillons cylindriques, sera traité d'abord, parce que les mesures qui ont été faites sur les échantillons du Musée Océanographique de Monaco ont été faites les premières. Les mesures ultérieures faites sur des échantillons non cylindriques du *CHALLENGER* seront données dans un autre chapitre. La technique de la préparation des échantillons et de la mesure de l'émanation, qui est la même dans les deux cas, sera décrite d'abord.

Choix de la méthode. — Tout d'abord, alors que le plan d'étude était plutôt étendu, l'auteur avait espéré de pouvoir employer une méthode relativement rapide, et de préférence une méthode qui ne nécessitât aucune destruction du matériel, ce qui est très désirable, en raison de sa rareté. Une telle méthode est celle qui a été employée dans diverses recherches antérieures, où les substances sont étudiées à l'état de fine poudre répandue sur une plaque d'un grand condenseur d'air, et on mesure le courant de saturation porté par les ions que les radiations de la substance produisent dans l'air entre les plaques. Cette méthode est très rapide et la substance, simplement pulvérisée, ce qui pour la plupart des sédiments n'implique pas de sérieux changement de structure, n'est pas détruite. Toutefois, il y a de très sérieuses sources d'erreur dues en partie à l'état non défini de la couche d'où les particules α peuvent s'échapper dans l'air au-dessus de la poudre, et en partie au fait qu'une fraction inconnue de l'émanation de radium présent dans l'échantillon se disperse, ce qui rend impossible une comparaison précise entre deux sédiments. Pour une recherche préliminaire, ou lorsqu'on ne désire pas une précision spéciale, la méthode a ses avantages, mais pour l'objet des recherches entreprises ici elle n'est pas satisfaisante.

La méthode classique, employée par la grande majorité des savants antérieurs pour l'étude de la radioactivité des roches et des sols, consiste en ceci : on porte l'émanation présente dans l'échantillon, quand un état d'équilibre radioactif prévaut, dans une chambre d'ionisation, et on mesure le courant de saturation

dû aux radiations de l'émanation et de ses produits immédiats, radium A-C. Ainsi le radium lui-même n'est pas mesuré directement, l'émanation et ses produits servant d'indicateur de sa quantité. Le dispositif de mesure est étalonné en faisant les mêmes opérations avec l'émanation d'une solution de teneur en radium connue. Cette méthode, si elle est correctement suivie, est très digne de confiance, et permet, dans des conditions favorables, une précision de quelques centièmes dans les mesures. D'autre part, elle a l'inconvénient d'être très laborieuse, parce que l'échantillon doit être complètement réduit en solution aqueuse d'où l'émanation puisse être expulsée, ce qui implique la décomposition chimique de la substance. En outre, chaque solution, ou plutôt les deux, puisqu'en général au moins deux fractions sont obtenues de chaque échantillon, doivent être conservées pendant une période de trois semaines ou plus, pour donner à l'émanation le temps de s'accumuler. Enfin, pour la même raison, l'émanation une fois transférée à la chambre d'ionisation, doit y rester trois ou quatre heures avant de procéder à la mesure, afin d'obtenir la quantité d'équilibre des produits Ra A-C. Pour donner aux dépôts radioactifs ainsi formés dans la chambre d'ionisation le temps de disparaître après chaque mesure, l'appareil doit être abandonné quelques heures après que l'émanation elle-même a été chassée de l'appareil et celui-ci lavé avec de l'air avant qu'une nouvelle mesure puisse être faite. Cela limite dans la pratique, à une, le nombre de solutions qu'on peut mesurer dans une journée, c'est-à-dire qu'il faut deux jours pour les deux fractions d'un même échantillon.

Dans une modification de cette méthode, qui a été développée par Joly, mais qui n'a été employée que par lui et ses collaborateurs [1], l'émanation est chassée de la substance, non par une dissolution, mais par une fusion de la matière. Une quantité pesée de l'échantillon est mélangée dans un creuset avec l'excès habituel de carbonates de sodium et de potassium et porté dans un four électrique de construction spéciale, qui peut être fermé hermétiquement et mis en communication avec la chambre d'ionisation, après quoi le vide est fait dans les deux. En chauffant le four jusqu'à ce que la décomposition ait lieu, l'acide carbonique chassé par la réaction entraîne avec lui l'émanation de l'échantillon dans la chambre d'ionisation où, après les quelques heures voulues d'attente, pendant laquelle se forment les Ra A-C, on procède aux mesures. L'étalonnage de l'appareil est effectué en répétant la même opération avec une quantité pesée de quelque minéral, par exemple d'uraninite de teneur en radium connue. La méthode élimine évidemment les longues opérations nécessaires pour amener les matières en dissolution. De plus il n'y a à faire qu'une mesure sur chaque échantillon, sans avoir à attendre trois semaines pour que l'émanation s'accumule.

Joly déclare en outre que la « méthode de fusion » est plus efficace que la « méthode de solution » pour chasser l'émanation, car avec la méthode de solution

[1] Phil. Mag. (6) 22, p. 134, 1911.

une partie de l'émanation peut être retenue par quelque précipité dans le flacon. Joly estime que son opinion est confirmée par ses résultats, parce qu'il trouve par la méthode de fusion de plus hautes valeurs pour la teneur en radium des mêmes matières que par l'autre méthode. En comparant les chiffres obtenus par Joly au moyen de sa méthode de fusion avec ceux obtenus par d'autres opérateurs sur un matériel semblable, les premiers sont en général beaucoup plus élevés. Des critiques de cette méthode ont élevé des objections à la manière dont Joly a étalonné ses appareils et considèrent que là peut être l'explication des différences constatées.

Sans entrer ici dans cette discussion, il vaut la peine d'attirer encore l'attention sur le fait déjà mentionné, que dans le cas de dépôts de mer profonde, les résultats de Joly par la méthode de fusion, sont, contrairement à la règle, *plus bas* et même *notablement plus bas*, que ses premiers résultats avec les mêmes matières par la méthode de solution. Joly lui-même ne donne aucune explication à cette exception à la règle, mais il considère la méthode de fusion, même dans ce cas, comme plus digne de confiance que l'ancienne méthode.

Maintenant, comme on le verra dans la suite, il y a des dépôts de mer profonde dans lesquels la teneur en radium des différentes couches présente de très grandes différences, une couche contenant deux ou trois fois plus de radium qu'une autre. Comme Joly ne dit rien de la forme de ses échantillons, nous pouvons admettre qu'il ne les a pas soumis à une analyse différentielle du genre de celle qui est indiquée ici. Très probablement ils n'avaient pas la forme voulue pour de telles recherches, ayant été recueillis avec le chalut ou avec la drague [1]. En admettant cela, et puisque les deux mesures ont été évidemment faites sur différentes parties de l'échantillon, il ne paraît pas impossible qu'il ait pu y avoir des différences réelles dans la teneur en radium entre les parties analysées d'abord par Joly et celles qui ont servi à la seconde analyse. Néanmoins il est remarquable que, dans dans tous les cas, les secondes analyses aient donné des chiffres aussi bas que l'indique le tableau I.

Les différences en question peuvent, toutefois, être dues au fait qu'une substance qui est très divisée est probablement plus exposée à perdre une partie de l'émanation par diffusion dans l'air qu'un morceau de minéral compact. Les sédiments sont virtuellement des poudres, quoique maintenues compactes par un traitement mécanique et la dessiccation à laquelle elles ont été soumises. Pour certains sédiments abyssaux, la dimension moyenne des particules est extrêmement petite (voir l'appendice à la fin de ce mémoire). Il semble donc raisonnable de s'attendre à ce que l'émanation de radium, accumulée dans un fragment d'argile rouge ou de vase à globigérines soit beaucoup moindre que la quantité d'équilibre. Cette propriété des sédiments est sans importance quand on emploie la méthode de solution, puisque le flacon contenant la solution est gardé hermétiquement

[1] Voyez les « Reports » du *CHALLENGER*.

fermé pendant au moins trois semaines avant la mesure. A moins que la même précaution soit observée avec un sédiment traité par la méthode de fusion, c'est-à-dire le laissant dans un creuset où le vide est fait, pendant quelques semaines avant la fusion, ce qui ferait perdre un grand avantage de cette méthode, qui est sa rapidité, la quantité d'émanation expulsée peut être considérablement moindre que la quantité d'équilibre, le reste s'étant échappé dans l'air à l'avance [1].

Ces objections contre la méthode de fusion ajoutées au prix relativement élevé des installations nécessaires ont fait préférer par l'auteur l'ancienne et très employée méthode de solution pour ces recherches, malgré la plus grande dépense de temps et de travail qu'elle entraîne. Comme on le verra par les résultats qui suivent, des mesures faites par l'auteur sur certains des échantillons étudiés par Joly ont donné des valeurs qui tombent nettement au-dessous de celles qu'il a trouvées avec la méthode de solution, tandis que dans le cas où il a répété l'analyse par la méthode de fusion, ses derniers chiffres sont nettement plus bas que les miens. Après le raisonnement précédent on pouvait s'attendre à ce résultat. Quelque considérables que soient les différences entre les résultats trouvés par Joly et par l'auteur par la méthode de solution, elles ne sont pas de nature à affecter les conclusions énoncées plus loin, qui ne sont pas tant en rapport avec les valeurs absolues de la teneur en radium trouvée, qu'avec des différences dans les chiffres des auteurs pour différents échantillons comparés *inter se*.

Collection et préparation des échantillons.

Pour une analyse différentielle montrant comment la radioactivité varie avec la profondeur dans le sédiment, on ne peut employer que des échantillons où les différentes couches restent dans leur position originelle. De tels échantillons sont obtenus au moyen de tubes sondeurs dont le cylindre métallique creux est enfoncé dans le sol sous-marin par l'action du poids qui lui est attaché. Quand on retire le tube, on laisse généralement les poids sur le fond pour ne pas fatiguer la ligne de sonde. Le tube lui-même est amené à la surface avec son orifice inférieur ouvert ou fermé au moyen d'une soupape en papillon, quand on a affaire à des sédiments particulièrement mous. La figure 1 représente le tube sondeur de Buchanan [2] qui a été très employé aussi bien à bord du *Challenger* que, avec certains perfectionnements, à bord des yachts du Prince Albert I[er] de Monaco.

[1] A l'appui de cette vue on peut rappeler les expériences de Gockel qui a trouvé que de deux échantillons de dépôt de mer profonde examinés par lui, un, de la plus grande profondeur, perdit environ un tiers de son activité par la chaleur, tandis que l'autre n'éprouva aucune modification. L'auteur a l'intention de faire du pouvoir d'émanation des dépôts de mer profonde le sujet de mesures ultérieures.

[2] Rep. *Challenger*; Narrative of the cruise vol. I, p. 117, fig. 44, légèrement modifiée. Le poids P ne tombe sur le fond que lorsqu'on commence à relever le tube sondeur, de sorte que jusqu'à ce moment il pèse sur le tube et l'aide à pénétrer de plus en plus dans le sol.

Quand le tube sondeur est arrivé à bord on fait sortir avec précaution l'échantillon en forme de cylindre plein, on le fait sécher après l'avoir enveloppé dans du papier filtre sur lequel on fait des marques pour distinguer la partie supérieure en contact avec l'eau du fond.

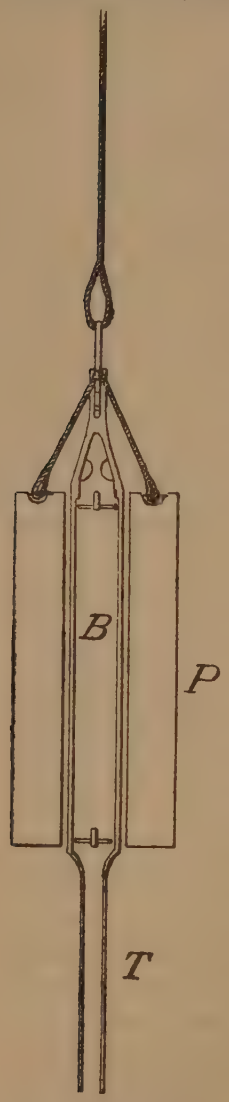

Fig. 1. Tube sondeur Buchanan.

Aussi bien à la récolte du sédiment, quand il est à un certain degré comprimé lorsque le tube est forcé à travers le sol, que par la dessiccation, il se produit une contraction de la matière, de sorte que la longueur du cylindre sec est moindre que celle qu'il avait *in situ*. Pour cette raison, quand on prend les distances mesurées sur le cylindre sec entre son extrémité supérieure et la section faite pour l'analyse, comme représentant la « profondeur » au-dessous de la surface du sédiment, il s'introduit une erreur dont la valeur ne peut pas être estimée. Pour les buts de la présente étude cette question a bien peu d'importance. Pour des recherches futures de ce genre il est toutefois désirable de trouver la valeur de cette correction par des mesures sur le cylindre frais avant de l'extraire du tube sondeur.

Comme le matériel employé pour mes recherches est unique et comme les portions analysées devaient être complètement décomposées, il était naturel que les autorités du Musée insistassent pour qu'une moitié des échantillons fut réservée pour des mesures ultérieures. Pour cette raison les cylindres furent divisés en long en deux moitiés, une moitié à analyser, l'autre à conserver au Musée. Cela réduisait naturellement la quantité de sédiment disponible pour une analyse fractionnée. D'autre part, je considérais comme essentiel de faire des mesures de contrôle indépendantes sur plusieurs fractions pour déterminer en premier lieu quelle était la précision des mesures et ensuite jusqu'à quel point les résultats pouvaient être considérés comme représentatifs de la fraction analysée. Cette précaution était la plus importante, puisqu'il ne paraissait pas impossible que la radioactivité pût être largement due à des fragments isolés de minéraux très radioactifs. Si ceux-ci se trouvaient inégalement distribués dans la même couche horizontale, il pourrait y avoir des variations dans la teneur en radium, même dans la petite surface correspondant à la section transversale de l'échantillon demi-cylindrique. Les échantillons de contrôle étaient destinés à servir aussi de contrôle à cette source d'erreur. C'est pourquoi, dans plusieurs cas, chaque fraction étudiée des demi-cylindres était traitée séparément et soumise à une analyse complète. Ces opérations rendaient le travail beaucoup plus laborieux, mais, comme les résultats le montreront, elles donnaient une garantie que, ni les inexactitudes dans l'analyse,

ni quelque distribution fortuite de matière active dans les échantillons, ne pouvaient probablement pas causer d'écarts supérieurs à environ une unité de la douzième décimale dans la teneur en radium. Au moins *inter se* les résultats des différents échantillons et des différentes fractions du même échantillon sont comparables avec ce degré de précision, qui est tout à fait suffisant pour tous les buts en question ici.

Les échantillons de l'expédition du *CHALLENGER* qui m'ont été soumis ont tous été ramenés par le chalut ou par la drague. Comme on ne pouvait s'attendre à avoir quelque renseignement précis sur une stratification de la teneur en radium dans ce matériel, on n'a analysé qu'une portion d'échantillon de chaque localité. Dans plusieurs cas les quantités de matière à ma disposition étaient trop faibles pour les diviser en deux ou plusieurs portions, car cela aurait diminué la précision de chaque analyse.

Traitement chimique des échantillons. — Chaque portion à étudier était écrasée doucement dans un mortier pour la mettre en poudre qu'on pesait au milligramme. Étant données les faibles quantités accordées pour l'analyse, spécialement dans le cas des échantillons soumis à différentes épreuves, la matière employée dans chaque cas était en général de 2 à 4 grammes. Dans un cas seulement je n'avais que trois quarts de gramme à ma disposition. Comme dans les recherches de Joly, les échantillons ont été pesés dans l'air sec et non soumis à une dessiccation quelconque. Il n'a pas été jugé utile d'éliminer par lavage le sel qui pouvait provenir de l'eau de mer. Dans les poids donnés il doit donc entrer plusieurs centièmes de sel marin et d'humidité, de sorte que, rapportés au vrai poids net du sédiment, sans eau ni sels solubles, les chiffres de la teneur en radium sont à relever en proportion [1].

Pour décomposer l'échantillon afin de le convertir en solution, on le chauffe généralement avec un grand excès de carbonates de sodium et de potassium. Même dans le plus pur état où on puisse les obtenir, de Merck ou de Kahlbaum, ces sels retiennent toujours une petite quantité de radium qui est ainsi introduite dans l'échantillon et qui doit être soustraite des valeurs mesurées. Les carbonates employés dans ces recherches, ainsi qu'un excès d'acide chlorhydrique étaient mesurés au point de vue du radium de la même façon que les échantillons. Les résultats de deux épreuves séparées étant d'accord, donnèrent une teneur en radium de 0,12 unités par gramme de carbonate. L'acide chlorhydrique employé provenant du plus pur acide qu'on put obtenir sur le marché, a été redistillé sur du chlorure de sodium de façon à éliminer toute trace d'acide sulfurique. Les essais pour déceler cet acide ont été tout à fait négatifs.

[1] S'il est permis de prendre les résultats d'analyse d'un échantillon d'argile rouge atlantique publiés par GEBBING (Deutsche Südpolarexpedition 1901-1903, VII, Heft II, p. 77-234, 1909) comme typiques, la teneur en eau et en sels doit monter à 20 % du poids total du sédiment desséché à l'air. Les données numériques de nos analyses seraient donc à augmenter d'environ 25 % pour la teneur en radium.

Pour réduire la proportion de carbonate nécessaire à la décomposition, une quantité pesée de l'échantillon était en général traitée d'abord avec une quantité limitée d'acide chlorhydrique dilué, jusqu'à ce que l'effervescence de l'acide carbonique ait cessé. Cette opération était faite dans un flacon d'Erlenmeyer et l'acide et l'échantillon étaient dans plusieurs cas pesés séparément avant le mélange. La perte de poids était estimée représenter le poids de l'acide carbonique éliminé. De cette façon une détermination approchée du carbonate (de calcium) contenu dans l'échantillon put être faite dans quelques cas, lorsqu'il n'y avait pas encore eu d'analyse chimique du sédiment en question.

La portion de l'échantillon qui n'a pas été dissoute par l'acide était séparée par filtration, lavée, séchée, pesée et mélangée avec quatre à cinq fois son poids de carbonates. On la portait alors dans un creuset de platine au rouge vif pendant une demi-heure. Pour les premiers échantillons on employa un brûleur Bunsen, ensuite un four électrique Heraeus. Après refroidissement, la masse fondue était retirée du creuset en le chauffant et le plongeant dans l'eau froide, autant de fois qu'il était nécessaire. Le produit était ensuite écrasé dans un mortier, traité pendant plusieurs heures par l'eau distillée chaude, et la solution alcaline ainsi obtenue était filtrée dans un flacon du type indiqué par *F* dans la figure 2. La partie insoluble était traitée par l'acide chlorhydrique dilué jusqu'à ce qu'elle fut dissoute, et la « fraction acide » résultante était versée dans un autre flacon avec la solution provenant du premier traitement de l'échantillon par l'acide chlorhydrique. Les flacons étaient fermés hermétiquement à la lampe. On les gardait ainsi au moins trois semaines pour laisser à l'émanation de radium le temps de s'accumuler avant de les soumettre aux mesures.

Si quelque petit fragment de l'échantillon avait résisté à la dissolution par l'acide, il était encore mélangé à de la soude, décomposé, etc., jusqu'à ce que toute la matière ait été amenée à l'état de solution. Pour quelques flacons remplis à Monaco et qui n'ont pu être analysés que plusieurs mois après, il se trouva qu'une gelée de silice hydratée s'était précipitée dans la fraction acide. Le flacon était alors ouvert, la solution claire filtrée dans un nouveau flacon qui était hermétiquement fermé et conservé pour les mesures, tandis que le précipité était traité comme un nouvel échantillon, puis mesuré et la teneur en radium ajoutée à celle des premières fractions.

Pour écarter tout risque de contamination par des matières actives, les échantillons qui n'avaient pas été mis en solution à Monaco étaient décomposés, non dans l'Institut du Radium même, ni dans l'Institut de Physique voisin à Vienne, mais dans un laboratoire privé où aucune personne travaillant avec des préparations de radium ne pouvait approcher des échantillons. Les mesures, comme on l'a dit plus haut, furent faites dans le laboratoire du Prof. Mache, qui est parfaitement à l'abri de toute contamination, et où ont été faites les plus délicates mesures de substances (météorites) de très faible activité. Les risques de contamination des matières étudiées étaient donc nuls.

Dispositif expérimental et mesures.

Le dispositif employé pour mesurer la teneur en radium des solutions préparées avec les échantillons est représenté dans la figure 2. E est un électromètre à fil de Elster-Geitel qui est connecté à l'électrode centrale de la chambre d'ionisation W de grande capacité (5400 cm^3). Les parois de la chambre sont maintenues à un potentiel de +80 volts au moyen d'une batterie d'accumulateurs dont le pôle négatif est mis à la terre. L'isolement de l'électrode centrale étant parfait, le seul moyen de la charger est par la voie de l'électricité conduite à travers l'air dans W qui devient ionisé à un certain degré quand l'émanation est introduite. Pour cela il y a deux entrées à W, par lesquelles il communique au moyen de tubes en

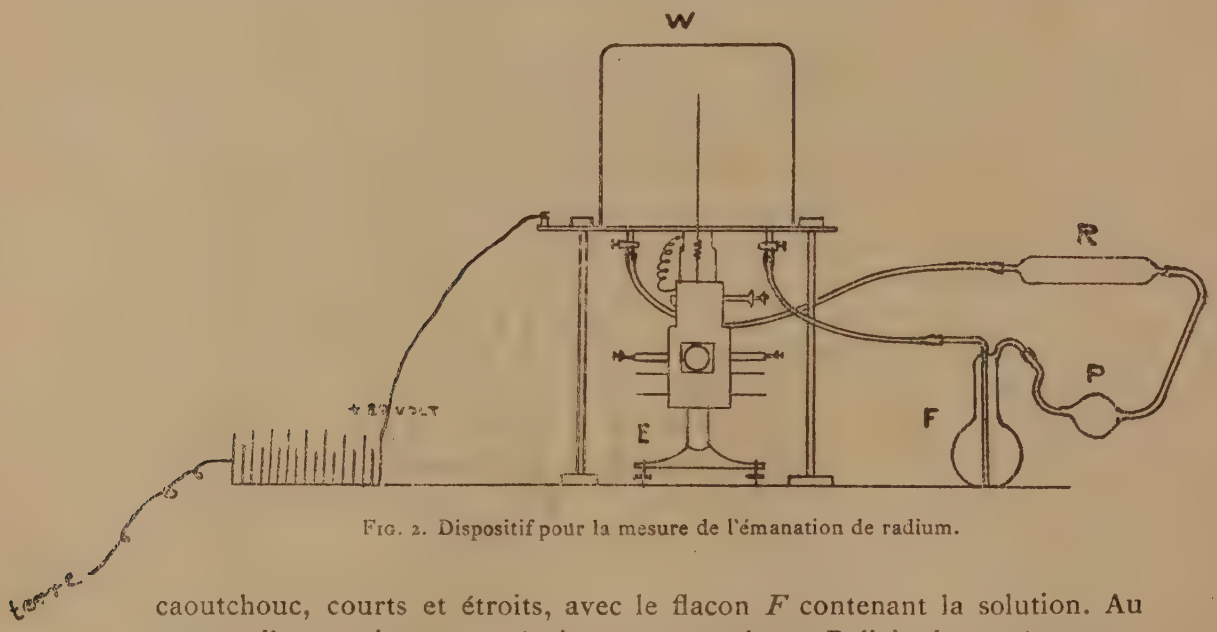

Fig. 2. Dispositif pour la mesure de l'émanation de radium.

caoutchouc, courts et étroits, avec le flacon F contenant la solution. Au moyen d'une petite pompe (poire) en caoutchouc P, l'air du système peut être mis en circulation, passant lentement en bulles à travers la solution, où il se charge d'émanation et entre dans la chambre d'ionisation à travers un petit tube de verre T rempli de chlorure de calcium. Après avoir fait fonctionner la pompe, par exemple pendant une demi-heure, l'émanation est distribuée uniformément dans tout le système, la part de beaucoup la plus grande étant dans W. On laisse alors l'ensemble au repos pendant trois ou quatre heures de façon que l'équilibre des produits qui suivent l'émanation aient le temps de se former et d'ajouter leurs radiations à celle de l'émanation elle-même. Ces radiations produisent dans l'air des ions qui laissent un certain courant de saturation passer des parois chargées de W à l'électrode centrale isolée. En reliant celle-ci à l'électromètre la charge

électrique croissante met son fil en mouvement sur l'échelle. La mesure consiste à noter le temps nécessaire au fil pour traverser dix divisions de l'échelle. On prend la moyenne de six à dix mesures semblables ; elle varie en sens inverse de la conductivité de l'air, c'est-à-dire comme l'inverse de la quantité d'émanation présente. Pour calculer d'après cette moyenne la quantité de radium présente dans la solution, l'appareil a été étalonné en faisant des mesures identiques avec une solution dont on connaît exactement la teneur en radium. Les corrections suivantes doivent être faites dans les calculs.

I. La sensibilité de l'électromètre doit être déterminée avant chaque mesure, pour trouver la valeur qu'aurait donnée l'appareil dans son état de sensibilité normal. Cela est obtenu en connectant l'électromètre à une source de potentiel exactement connu, une batterie de dix éléments normaux en série. La déflexion ainsi produite, qui peut être désignée par A, était en général peu différente de celle trouvée à l'étalonnage, soit 44 divisions de l'échelle. Le temps nécessaire pour une perte de charge électrique correspondant à 10 divisions de l'échelle doit évidemment être corrigé à la sensibilité normale en le multipliant par le facteur $\frac{A}{44}$.

II. Même sans aucune émanation dans W, il y a toujours une petite perte variable d'électricité à travers l'air qu'il contient, due en partie à une légère radioactivité des parois dans W, en partie aux radiations pénétrantes de l'extérieur et aux petites traces d'émanation qui peuvent exister dans l'air lui-même. Cette « perte naturelle » s'ajoute à l'effet mesuré et doit en être retranchée pour trouver la perte nette due à l'activité provenant de la solution. Pour cela, le temps demandé par le fil de de l'électromètre pour traverser dix divisions de l'échelle est toujours mesuré immédiatement avant d'introduire l'émanation venant de la solution. Appelant ce temps T, le temps moyen depuis la mesure avec l'émanation étant comme avant t, la dernière valeur est corrigée pour l'effet de la perte naturelle par la multiplication avec le facteur $\frac{T}{T-t}$.

Le temps t' corrigé pour la perte naturelle étant ainsi $t' = \frac{T}{T-t} \cdot t$

Toute l'émanation de la solution n'est pas à l'intérieur de W. Appelant v le volume de la solution et u le reste du volume en dehors de la chambre d'ionisation, nous pouvons corriger la mesure de l'effet dû à l'émanation de l'intérieur de W pour la portion manquante contenue dans le reste du système par multiplication avec ce facteur $B = \frac{W}{W + u + v.0{,}2}$ où 0,2 est la solubilité de l'émanation dans l'eau. Dans le présent dispositif la valeur de B dépasse l'unité seulement de quelques centièmes.

Dans l'intervalle des quatre heures pendant lesquelles l'émanation est laissée dans W avant de faire les mesures, non seulement le dépôt actif est formé, mais

une diminution correspondante de l'émanation elle-même se produit. Une correction, due à cet effet qui porte la vitesse de décharge mesurée due à l'émanation présente à la valeur correspondant à la quantité de plein équilibre de l'émanation, est obtenue en multipliant le temps exact t' par le facteur $C=e^{-\lambda\tau}$ où λ est la constante de désintégration d'émanation rapportée à une heure comme unité, et τ est le temps durant lequel l'émanation a été laissée dans W. D'après Meyer et Schweidler [1], $\lambda=7{,}549.10^{-3}$.

A l'étalonnage de l'appareil, l'émanation d'une solution préparée par le Prof. Hönigschmidt, et contenant $1{,}835.10^{-8}$ grammes de radium donna une vitesse de décharge de 10 divisions de l'échelle en 0,737 secondes à la sensibilité normale de l'électromètre de 44 divisions de l'échelle.

En introduisant les corrections mentionnées ici nous trouvons que le poids de radium X en grammes contenu dans une solution, qui donne le temps moyen t de décharge pour dix divisions de l'échelle est

$$X=1{,}835.10^{-8}.0{,}737 : \left[\frac{A}{44}\cdot B\cdot C\cdot\frac{T}{T-t}\cdot t\right]$$

En ajoutant ensemble les quantités de radium ainsi trouvées dans les deux (ou plus) solutions, acide et alcaline, préparées de chaque échantillon, et en retranchant la quantité Q introduite avec le poids total P gr. de carbonates employés pour la décomposition, d'après les essais pour le radium contenu dans ces carbonates, comme cela a été indiqué précédemment, $Q=P.\ 0{,}12.10^{-12}$ gr., la quantité exacte de radium présent dans l'échantillon est $X-Q$. En divisant cette dernière valeur par le poids de l'échantillon, nous trouvons le radium contenu par unité de poids, exprimé comme d'habitude en unités de la douzième décimale, qui est numériquement égale au nombre de milligrammes de radium présent dans une tonne du sédiment.

Cette unité a été régulièrement employée dans la suite.

La portion de la teneur en radium qui provient des solutions alcalines est très petite, généralement, ou nulle ou seulement une fraction d'unité. C'est spécialement le cas quand l'échantillon a été traité par l'acide chlorhydrique avant la décomposition par les carbonates. Sur l'avis du Prof. Mache, les solutions alcalines des échantillons analysés du *Challenger* ne furent pas mesurées.

[1] Radioaktivität, II Aufl. p. 464.

RÉSULTATS DES ANALYSES DE RADIUM

DES DÉPOTS DE MER PROFONDE

Les longitudes adoptées partent du méridien de Greenwich ; les profondeurs sont données en mètres, d'après les publications des croisières du Prince de Monaco et du *CHALLENGER* ; les sédiments ont été classés d'après Murray et Renard.

La « profondeur » dans l'échantillon considéré est la distance à partir de l'extrémité supérieure du cylindre séché à l'air.

La teneur en radium est donnée en billionièmes de grammes de Ra par gramme de sédiment.

Pour la bibliographie concernant les échantillons analysés, consultez :

THOULET (J.), *Etudes de fonds marins provenant du voisinage des Açores et de la portion orientale de l'Atlantique Nord*, Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht par Albert Ier, Prince Souverain de Monaco, Fasc. XIX. Monaco 1901.

THOULET (J.), *Échantillons d'eaux et de fonds provenant des campagnes de la PRINCESSE-ALICE (1901)*, ibid. Fasc. XXII. Monaco 1902.

THOULET (J.), *Mémoires océanographiques*, ibid. Fasc. XXIX. Monaco 1905.

Bulletin de l'Institut océanographique n° 19, 1904 ; n° 46, 1905 ; n° 157, 1910. Monaco. Listes des Stations de la *PRINCESSE-ALICE II*.

MURRAY (J.) and RENARD (A. F.), *Deep-Sea Deposits*, Reports on the scientific Results of the voyage of *H. M. S. CHALLENGER*. Edinburgh 1891.

PRINCESSE-ALICE II. Station 1160.

31 juillet 1901. Lat. 14° N. Long. 30°01' W. Profondeur 5443 mètres. Argile rouge.

Ce sédiment, comme les trois suivants, a été analysé par Thoulet, qui définit le sédiment comme « vase calcaire », ou, d'une façon plus détaillée, comme « vase homogène jaune rougeâtre pâle », ajoutant : « Cet échantillon est un véritable type de vase profonde éloignée des côtes ». La teneur en carbonate est indiquée « calcaire 19 % » qui est nettement comprise dans la limite de 30 % fixée par Murray et Renard pour séparer l'argile rouge de la vase à globigérines. Comme le point où le sédiment a été recueilli est pratiquement au centre de l'aire d'argile rouge de la dépression du Cap Vert, d'après Murray-Philippi, ce qui a été récemment confirmé par l'expédition du *METEOR*, il paraît correct de le définir comme un véritable échantillon d'argile rouge, bien que la couleur à l'état sec soit presque parfaitement gris-blanche. Il n'y a dans l'analyse de M. Thoulet aucune remarque sur la présence de produits volcaniques, ce qui constitue une différence significative avec l'échantillon suivant de la Stn. 1169.

Pour son analyse, M. Thoulet a enlevé l'extrémité du cylindre, c'est-à-dire la portion qui contenait les sédiments de plus récente formation. La longueur de la portion enlevée n'est pas indiquée, mais elle peut être calculée, d'après d'autres renseignements de M. Thoulet, comme ayant eu environ 7^{cm} de longueur. De la longueur restante, 8,4 cm du cylindre, deux portions furent prises aux extrémités opposées et analysées.

ANALYSE DU RADIUM

	Portion supérieure	Portion inférieure
Longueur	2,1 cm.	2,3 cm.
« Profondeur » approximative de son centre...	8 cm.	14 cm.
Poids de la portion	4,865 gr.	4,925 gr.
Radium en solution	18,0	21,0
Teneur en radium par gramme de sédiment...	3,7	4,3

Teneur moyenne en radium du sédiment 4,0.

Princesse-Alice II. Station 1169.

4 août 1901. Lat. 12°05' N. Long. 33°31' W. Profondeur 6035 mètres. Argile rouge.

Ce sédiment qui vient de la plus grande profondeur atteinte par le Prince Albert de Monaco, a été décrit par Thoulet comme « vase non calcaire volcanique basaltique » et ensuite plus en détail « vase rougeâtre homogène à grains très fins avec rares globigérines blanches empâtées ». Le carbonate de chaux (« calcaire ») est seulement de 1 %. Le sédiment est indiqué comme contenant de l'obsidienne de couleur brun rougeâtre et du basalte magmatique. Thoulet (Fasc. XXII, p. 49) remarque : « Ce fond si voisin de 1160 et si différent de constitution est remar-« quable ; tous deux sont situés en plein océan, loin de toute côte. On ne peut « guère expliquer cette richesse en éléments volcaniques que par l'existence d'un « courant venant de l'archipel du Cap Vert et ayant transporté par semi-flottaison, « des grains de magma basaltique, ou mieux, par l'hypothèse du voisinage d'un « volcan sous-marin ».

L'extrémité supérieure du cylindre a été enlevée par Thoulet, sa longueur approximative peut être évaluée à 10^{cm}.

ANALYSE DU RADIUM

	Portion supérieure	Portion inférieure
Longueur	3,1 cm.	1,8 cm.
« Profondeur » approximative de son centre...	12,5 cm.	18,7 cm.
Poids de la portion	4,285 gr.	2,500 gr.
Radium en solution	33,6	75,7
Teneur en radium par gramme de sédiment...	7,8	30,3

La teneur en radium de la portion de l'extrémité inférieure est donc quatre fois plus grande que celle de la partie supérieure.

Princesse-Alice II. Station 1226.

5 septembre 1901. Lat. 30°50' N. Long. 25°07' W. Profondeur 5430 mètres. Argile rouge.

Thoulet définit ce sédiment une « vase calcaire ». Sa couleur ne montrant pas de teinte rouge est décrite comme « gris-clair ». La localité est située bien en

dehors de l'aire d'argile rouge du milieu de l'Atlantique Nord sur la carte de Murray-Philippi. D'après Thoulet, le carbonate de chaux ne fait que 14 °/₀ du sédiment. Si nous acceptons la distinction de Murray et Renard entre l'argile rouge et les sédiments calcaires par la limite de 30 °/₀ de carbonate de calcium et si nous admettons que la couleur n'est pas un caractère essentiel, nous devons considérer ce sédiment comme de l'argile rouge.

Thoulet y a trouvé de très rares fragments d'obsidienne. L'extrémité du cylindre, enlevée par lui pour ses analyses, devait avoir 8,5cm. La portion étudiée ici appartenait à l'extrémité supérieure du reste du cylindre, c'est-à-dire près de la portion étudiée par Thoulet.

ANALYSE DU RADIUM

Longueur de l'échantillon	3,0 cm.
« Profondeur » approximative de son centre	10 cm.
Poids de l'échantillon	4,346 gr.
Radium en solution	9,2
Teneur en radium par gramme de sédiment	2,1

PRINCESSE-ALICE II. Station 1432.

10 septembre 1902. Lat. 43°08'30" N. Long. 19°51'45" W. Profondeur 5930 mètres. Vase à globigérinés.

Le sédiment a été étudié par Thoulet, d'après qui la teneur en carbonate de calcium est 36 °/₀, c'est-à-dire bien au-dessus de la limite établie pour l'argile rouge. La couleur est rougeâtre, il y a de rares particules de ponce, de magma basaltique et de feldspath, aussi de palagonite jaune, d'actinote et de quartz. La longueur de la partie supérieure enlevée peut seulement être estimée d'après les autres cas, parce qu'on n'a aucune donnée concernant la longueur ou le poids.

Pour ce sédiment l'extrémité supérieure du cylindre restant a été coupée longitudinalement en deux et chaque moitié soumise à une analyse complète. La proportion des carbonates a été mesurée en pesant avant et après que l'acide carbonique a été chassé par l'acide chlorhydrique, les résultats se sont trouvés d'accord avec ceux de Thoulet. On peut donc admettre que les fractions du cylindre analysées par Thoulet et par l'auteur étaient parties d'un sédiment homogène. Les résultats des déterminations de radium dans les deux portions sont tout à fait d'accord.

ANALYSE DU RADIUM

	1re portion	2e portion
Longueur de l'échantillon	3,1 cm.	3,1 cm.
« Profondeur » probable de son centre	10 cm.	10 cm.
Poids	3,045 gr.	2,916 gr.
Teneur en carbonate de calcium	38 °/₀	34 °/₀
Radium en solution	13,4	12,8
Teneur en radium par gramme de sédiment	4,4	4,4

Teneur moyenne en carbonate de calcium 36 °/₀.
Teneur moyenne en radium 4,4.

Princesse-Alice II. Station 1798.

26 août 1904. Lat. 32°18' N. Long. 23°58' W. Profondeur 5422 mètres. Vase à globigérines.

Ce sédiment est noté dans le Bulletin du Musée Océanog. n° 19 comme « vase argileuse » [1], sans plus ample indication concernant son contenu en micro-organismes. Il est bien situé dans l'aire couverte de vase à globigérines d'après Murray et Philippi.

Ce sédiment est d'un intérêt particulier, parce qu'il consiste en plusieurs couches nettement différentes, l'extrémité supérieure de 7,7cm de long et l'extrémité inférieure de 3,5^{cm} de long, étant toutes deux de couleur gris clair, tandis que le milieu sur 14^{cm} de long, est encore plus clair, mais avec une teinte de rose, semblable à celle d'autres échantillons d'argile rouge de l'Atlantique Nord. Cette portion moyenne était d'un diamètre nettement inférieur à celui des extrémités, probablement dû à une plus grande contraction pendant la dessiccation. Comme aucun prélèvement ne paraît avoir eu lieu, la « profondeur » du centre de chaque portion analysée est prise comme égale à sa distance de la surface de l'extrémité supérieure du cylindre. Une détermination approximative de la proportion des carbonates dans chaque portion analysée a été faite en pesant avant et après effervescence, comme on l'a décrit précédemment. D'après ces déterminations la teneur en carbonates est pratiquement la même dans les deux portions extrêmes et beaucoup moindre dans la portion intermédiaire.

ANALYSE DU RADIUM

	Portion supérieure	Portion moyenne	Portion inférieure
Longueur	3,7 cm.	4,0 cm.	3,5 cm.
« Profondeur » approximative de son centre	1,8 cm.	14 cm.	23,5 cm.
Poids de l'échantillon	5,850 gr.	8,589 gr.	5,870 gr.
Teneur en carbonates	54 °/o	34 °/o	56 °/o
Radium en solution	8,4	18,8	23,0
Teneur en radium par gramme de sédiment	1,4	2,2	3,9

Princesse-Alice II. Station 2075.

7 août 1905. Lat. 25°57' N. Long. 35°08' W. Profondeur 5580 mètres. Argile rouge.

Ce sédiment semblable au suivant est décrit comme « argile rouge » dans le Bull. Musée Océanogr. n° 46, p. 12. La longueur totale du cylindre mis à ma disposition était de 170^{mm}, dont une section de 40^{mm} fut faite à l'extrémité supérieure, et une autre de 50^{mm} à l'extrémité inférieure. Ces deux sections furent coupées en long en deux moitiés pour des analyses de contrôle et chaque portion fut traitée séparément. Le flacon contenant les solutions d'une des portions infé-

[1] Désignation provisoire (Dr J. Richard).

rieures a été cassé dans le transport, les deux portions de l'extrémité supérieure montrèrent toutefois des résultats concordants, de sorte qu'il y a peu de doute qu'il n'en fut de même avec les deux portions inférieures.

ANALYSE DU RADIUM

	Échantillon supérieur		Échantillon inférieur
	Première portion	Deuxième portion	
Longueur	4,0 cm.		5,0 cm.
« Profondeur » approximative de son centre	2,0 cm.		14,5 cm.
Poids de l'échantillon	4,043 gr.	4,044 gr.	4,164 gr.
Radium en solution	35,5	32,9	28,0
Teneur en radium par gramme de sédiment	8,8	8,1	6,7
Teneur moyenne	8,45		

PRINCESSE-ALICE II. Station 2081.

8 août 1905. Lat. 26°37' N. Long. 36°35' W. Profondeur 5382 mètres. Argile rouge.

La longueur totale du cylindre était de 190^{mm} dont la partie supérieure, d'environ 10^{mm}, était nettement plus claire en couleur que le reste qui avait la couleur brunâtre pâle de l'argile rouge de l'Atlantique. Laissant de côté la partie supérieure qui gisait à part, brisée, isolée du reste, comme trop petite pour l'analyse, on prit trois sections du cylindre, chaque section étant coupée en moitiés et les six portions furent décomposées séparément et analysées. On ne fit pas, dans ce cas, de mesure de l'acide carbonique contenu dans les échantillons.

ANALYSE DU RADIUM

	Échantillon infr		Échantillon moyen		Échantillon supr	
	1re portion	2e portion	1re portion	2e portion	1re portion	2e portion
Longueur de l'échantillon	2,3 cm.		2,7 cm.		2,5 cm.	
« Profondeur » approximative de son centre	2,1 cm.		7,0 cm.		17,0 cm.	
Poids de l'échantillon	2,628 gr.	2,600 gr.	2,655 gr.	2,669 gr.	2,774 gr.	2,742 gr.
Radium en solution	23,0	25,6	23,0	24,3	12,3	12
Teneur en radium par gramme de sédiment	8,7	9,8	8,7	9,1	4,45	4,4
Teneur moyenne	9,25		8,9		4,42	

PRINCESSE-ALICE II. Station 2868.

5 août 1909. Lat. 43°05' N. Long. 19°41' W. Profondeur 5940 mètres. Vase à globigérines.

Le sédiment a été décrit à titre provisoire dans le Bulletin de l'Inst. Océanogr. n° 157, p. 6, comme « vase rouge avec globigérines ». Sa couleur était brun chocolat. La partie centrale avait été enlevée et envoyée pour l'analyse au Prof. Gockel de Fribourg, en Suisse, qui a publié les résultats de ses mesures faites seulement suivant une méthode relative. La longueur de la portion enlevée est inconnue, mais à en juger par la longueur totale des autres échantillons, on peut

admettre qu'elle était entre 5 et 10 cm. On a pris 7,5 cm comme longueur plausible, mais il y a évidemment une grande incertitude sur cette valeur et par conséquent aussi sur la « profondeur » de la portion inférieure analysée. Sa « profondeur » minima, en négligeant complètement la portion manquante, est donnée entre parenthèses.

Pour ce sédiment, les deux sections analysées ont été coupées chacune en deux portions par mesure de contrôle. La proportion de carbonate de calcium a été déterminée de la même manière que pour les échantillons des Stations 1432 et 1798.

ANALYSE DU RADIUM

	Échantillon supérieur		Échantillon inférieur	
	Première portion	Deuxième portion	Première portion	Deuxième portion
Longueur	3,5 cm.	3,5 cm.	5,5 cm.	5,5 cm.
« Profondeur » approximative de son centre	2 cm.	2 cm.	18 cm. (min. 11 cm.)	18 cm. (min. 11 cm.)
Poids	4,120 gr.	4,134 gr.	4,168 gr.	4,088 gr.
Radium en solution	14,8	12,5	12,4	12,4
Teneur en radium par gramme de sédiment	3,6	3,0	3,0	3,0
Teneur en carbonate de calcium	52 %	52 %	30 %	32 %
Teneur moyenne en radium	3,3		3,0	
Teneur moyenne en carbonate de calcium	52 %		31 %	

L'échantillon de cette station est d'un spécial intérêt parce qu'il est situé très près de la Stn. 1432, également étudiée au point de vue du radium, les deux stations explorées par le Prince en 1902 et 1909 respectivement, étant séparées par environ 14 kilomètres. Les profondeurs sont aussi pratiquement identiques, soit 5930 et 5940 respectivement. Il y a une différence de couleur considérable, le sédiment de la Stn. 1432 étant plus clair, tandis que celui de la Stn. 2868 est brun chocolat, coloration due sans aucun doute à la relativement grande teneur en manganèse, qui est d'ailleurs très rare dans le nord-est de l'Atlantique. C'est sans doute à cause de sa couleur que le sédiment fut provisoirement défini « argile rouge avec globigérines » dans le Bulletin de l'Inst. Océanogr. n° 157. Actuellement, d'après sa teneur en carbonate de calcium, spécialement dans la couche superficielle, où il dépasse 50 %, on doit le classer comme vase à globigérines. L'échantillon de cette station a été soumis à un examen rigoureux, des échantillons de contrôle ayant été analysés pour les deux extrémités du cylindre, et on a trouvé des résultats très concordants tant pour la teneur en radium que pour la teneur en carbonate de calcium. En comparant les deux extrémités du cylindre, la teneur en radium se montre la même, tandis que le pourcentage du carbonate de calcium est beaucoup moindre dans la partie inférieure de l'échantillon. Quant à une comparaison entre les sédiments des deux stations, on voit que ce pourcentage est un peu plus élevé à la Stn. 1432, mais dans aucun cas il ne dépasse la valeur moyenne caractéristique de presque tous les sédiments calcaires.

Challenger (Atlantique Nord). Station 5.

Lat. 24°20' N. Long. 24°28' W. Profondeur 5011 mètres. Argile rouge.

Cette station est située sur la pente orientale de la fosse du Cap Vert, au nord des îles du Cap Vert. La teneur en carbonate de calcium est de 12 °/₀ dont 9 °/₀ de globigérines et 1 °/₀ d'organismes siliceux. Minéraux 1 °/₀ : quartz couvert de limonite, magnétite, feldspath, augite, ponce, mica noir. Fins-fins : 86 °/₀ d'une grande quantité de fines particules minérales, matière amorphe, fragments d'organismes siliceux.

Une analyse mécanique par le Prof. Sven Odén (Proc. R. Soc. Edinburgh, vol. xxxvi, pt iii, n° 13, p. 219, 1916) a montré que la masse du sédiment consiste en particules extrêmement fines, 44 °/₀ du poids total ayant un « diamètre effectif » de moins de 0,0011mm. Poids spécifique 2,03 (Voyez l'Appendice).

Une analyse chimique complète a été faite sur deux échantillons différents de ce sédiment par Brauer (voyez les *Challenger* Reports), mais malheureusement « après que les parties les plus fines avaient été entraînées par le lavage » et sans que leur pourcentage ait été fixé. Si ces fines portions sont identiques aux fins-fins indiqués plus haut, l'analyse ne porte plus que sur les 14 °/₀ restants du sédiment. La moyenne des deux échantillons analysés montre seulement 5 °/₀ d'oxyde de fer et pas trace de manganèse.

Le sédiment paraît être une argile rouge typique de l'Atlantique Nord avec une teneur médiocre de fer et de chaux, pas de manganèse, quelques produits volcaniques et une grande proportion de fins-fins.

La teneur en radium mesurée par la méthode de solution a été établie par Joly[1] à 15,4 unités. Une analyse différentielle faite par le même auteur sur les dix premiers et dix derniers grammes déposés par 30 grammes de sédiment en suspension dans de l'eau distillée, donna environ deux fois plus de radium dans la dernière fraction que dans la première, soit 28,0 et 13,0 unités respectivement. Cela impliquerait, si l'on veut conserver la moyenne de 15,4 unités, que les dix grammes restants de la substance consistant en particules de dimension intermédiaire auraient contenu beaucoup moins de radium, soit environ 5 unités. Il ne semble pas qu'une répétition de cette analyse par la méthode de fusion ait été faite.

ANALYSE DU RADIUM

Poids de l'échantillon	4,275 gr.
Radium en solution	18,2
Teneur en radium par gramme de sédiment	4,3

[1] Phil. Mag. 1908, loc. cit.

Challenger (Atlantique Nord). Station 27.

Lat. 22°49' N. Long. 65°19' W. Profondeur 5413 mètres. Argile rouge.

La localité se trouve sur la pente ouest de la fosse de Nares et bien dans l'intérieur de l'aire de l'argile rouge de l'Atlantique Nord.

La teneur en carbonate de calcium, d'après les « Reports » du *Challenger* est de 3,25 °/₀ ; organismes siliceux 1 °/₀ ; minéraux, obsidienne comprise 1 °/₀ ; fins-fins environ 95 °/₀. L'analyse chimique montre une médiocre quantité d'oxyde ferrique, environ 6 °/₀ et une « good trace » de manganèse, qui est généralement absent dans les autres échantillons d'argile rouge de l'Atlantique Nord.

ANALYSE DU RADIUM

Poids de l'échantillon	1,091 gr.
Radium en solution	1,6
Teneur en radium par gramme de sédiment	1,5

Ce sédiment a la teneur en radium la plus basse de tous les dépôts analysés par l'auteur, la valeur trouvée étant égale à la teneur moyenne en radium des roches sédimentaires continentales, d'après Joly.

Challenger (E. Océan Indien). Station 160.

Lat. 42°42' S. Long. 134°10' E. Profondeur 4755 mètres. Argile rouge avec globigérines.

Cette station est située sur l'extrémité sud-est de la pente de la fosse de Jeffreys.

La teneur en carbonate de calcium est de 18,56 °/₀. Organismes siliceux 1 °/₀ ; minéraux 1 °/₀ ; quartz, ponce, magnétite, nombreux fragments d'obsidienne, grains de manganèse et sphérules magnétiques. Grand nombre aussi de petits fragments de quartz couverts de limonite « apparently windborne from Australia ». Fins-fins faisant 79,44 °/₀ et contenant aussi des fragments d'obsidienne. Le sédiment paraît être stratifié, car les dépôts ramenés par le chalut étaient en certaines parties très riches en carbonate de chaux, ce qui peut arriver là où de la vase à globigérines s'est déposée sur de l'argile rouge. Une analyse chimique, faite après l'élimination des plus fines particules par le lavage, donna 1,5 °/₀ d'oxyde de manganèse, ce qui est du même ordre que la teneur en manganèse dans la plupart des argiles rouges du Pacifique.

DÉTERMINATION DU RADIUM

Poids de l'échantillon	1,183 gr.
Radium en solution	11,5
Teneur en radium par gramme de sédiment	9,6

Challenger (W. du Pacifique). Station 171 A.

Lat. 25°05' S. Long. 172°56' W. Profondeur 5304 mètres. Argile rouge.

La station est située à 2° droit à l'est de l'extrémité sud de la fosse des Tonga. Le sédiment ne contient pas du tout de carbonate de calcium et seulement 1 °/₀ d'organismes siliceux. La couche superficielle était rouge et pas aussi dure que la couche bleue du dessous, cas évident de stratification. Les minéraux font 5 °/₀, on y trouve des fragments de quartz, ponce, particules rouges d'obsidienne, fragments de roches de manganèse et grains de manganèse. Fins-fins : 94 °/₀ composés surtout de petits fragments de ponce.

DÉTERMINATION DU RADIUM

Poids de l'échantillon	1,094 gr.
Radium en solution	14,3
Teneur en radium par gramme de sédiment	13,1

Challenger (E. du Pacifique). Station 225.

Lat. 11°24' N. Long. 143°16' E. Profondeur 8184 mètres. Vase à radiolaires.

La station est située à l'extrémité sud-ouest de la fosse *Nero* et est le sondage le plus profond d'où le *Challenger* ait ramené un échantillon du fond ; c'est donc aussi, suivant toute probabilité, le plus profond dépôt qui ait été étudié au point de vue du radium. Le sédiment contient seulement une trace de carbonate de calcium, tandis que le contenu en organismes siliceux est très élevé, soit 80 °/₀, principalement des radiolaires. Parmi les particules minérales, 3 °/₀, il y avait des fragments de feldspath, augite, ponce, magnétite, palagonite, lapilli de roches andésitiques, sphérules de bronzite. Les fins-fins (fine washings) font 17 °/₀, contenant beaucoup de fins fragments d'organismes siliceux. D'après des observations additionnelles, outre les nombreuses particules volcaniques altérées, il y a beaucoup de petits agrégats du fond, difficiles à briser, ainsi que de petits groupes de cristaux rhomboédriques de carbonate de chaux.

DÉTERMINATION DU RADIUM

Poids de l'échantillon	0,765 gr.
Radium en solution	6,1
Teneur en radium par gramme de sédiment	8,0

En admettant que la teneur en radium des organismes siliceux est négligeable, le résidu inorganique, qui fait moins de 20 °/₀ du dépôt, puisque des fragments d'organismes siliceux sont présents aussi dans les fins-fins, devrait avoir une teneur en radium au moins cinq fois plus forte que la moyenne ci-dessus de l'échantillon tout entier, c'est-à-dire au moins 40 unités.

CHALLENGER (N.-E. du Pacifique). Station 239.

Lat. 35°18' N. Long. 144°08' E. Profondeur 6629 mètres. Argile rouge.

La station est à 3° à l'est de l'extrémité sud de la fosse du *TUSCARORA* et c'est le second plus profond sédiment analysé au point de vue du radium. Il n'y a pas trace de carbonate de calcium, et 3 °/₀ d'organismes siliceux ; 10 °/₀ de minéraux, parmi lesquels feldspath, ponce, scories, magnétite, palagonite, augite, grains de manganèse.

Les fins-fins s'élèvent à 87 °/₀ consistant en beaucoup de matière amorphe, et en restes minéraux et siliceux. Il y a une quantité considérable de ponce, et de nombreuses particules noires de manganèse.

DÉTERMINATION DU RADIUM

Poids de l'échantillon	1,084 gr.
Radium en solution	5,9
Teneur en radium par gramme de sédiment	5,4

Cette teneur en radium est la plus basse qui ait été trouvée par l'auteur dans un sédiment du Pacifique.

CHALLENGER (N. du Pacifique). Station 244.

Lat. 35°22' N. Long. 169°53' E. Profondeur 5303 mètres. Argile rouge.

Cette station située au milieu de l'océan est typique, étant plus éloignée de toute terre ou île que tout autre échantillon analysé au point de vue du radium, sa distance aux îles du Japon étant d'environ 2700 kilomètres.

D'après le « Report » du *CHALLENGER* l'analyse donna seulement une trace de carbonate de chaux ; 1 °/₀ d'organismes siliceux ; 1 °/₀ de minéraux, minéraux volcaniques, ponce et sphérules cosmiques. Pas moins de 98 °/₀ du sédiment étaient des fins-fins, particularité qui caractérise aussi les stations voisines 242 et 245 ; le fait qu'aucun dépôt n'a été rapporté de la Stn. 243 par le tube sondeur parle aussi pour une composition semblable. Le chalut rapporta beaucoup de pierres ponces, la plupart entourées de dépôts concentriques de manganèse. La ponce contenait de très grands cristaux de sanidine, plagioclase et augite.

DÉTERMINATION DU RADIUM

Poids de l'échantillon	1,156 gr.
Radium en solution	32,5
Teneur en radium par gramme de sédiment	27,2

CHALLENGER (Pacifique central). Station 272.

Lat. 3°48' S. Long. 152°56' W. Profondeur 4755 mètres. Vase à radiolaires.

La station est située à 2° droit à l'est de l'île Malden.

Le carbonate de calcium fait 10.19 °/₀, les organismes siliceux 60 °/₀. Minéraux 1 °/₀ : magnétite, mica, fragments de verre volcanique et feldspath. Fins-fins 28,81 °/₀ contenant des restes de radiolaires et de la matière amorphe. Dans des observations additionnelles il est dit que le sédiment est d'une couleur rouge brun foncé, montrant des taches claires à la surface supérieure. Dans le chalut il y avait un morceau arrondi de ponce, légèrement imprégné de manganèse, et deux ou trois nodules de manganèse qui, brisés, montraient un noyau de ponce.

En ajoutant le carbonate de chaux aux organismes siliceux, nous trouvons que le résidu inorganique s'élève à moins de 30 °/₀ du poids total et qu'il y avait aussi des fragments de radiolaires contenus dans les fins-fins. Le résidu net d'origine inorganique ne peut donc pas être estimé à plus d'environ le quart du poids total du dépôt, probablement encore moins.

Une analyse mécanique de ce sédiment, faite par Odén avec sa méthode de la balance, a montré que des particules de diamètres effectifs variant entre les limites $0^{mm},003$ et $0^{mm},04$ sont présentes en poids à peu près égaux, ce que traduit la partie plus ou moins horizontale de la courbe de distribution, avec une tendance ascendante vers des diamètres encore plus bas. Environ un quart du poids total consiste en très petites particules qui ont un diamètre effectif de $0^{mm},0025$ ou encore moins.

ANALYSE DU RADIUM

Poids de l'échantillon	4,241 gr.
Radium en solution	77,6
Teneur en radium par gramme de sédiment	18,3

Joly analysant un échantillon de la même station par la méthode de solution, a trouvé 22,8 unités de Ra, soit environ 25 °/₀ de plus que la teneur ci-dessus. Une analyse ultérieure par la méthode de fusion donna une valeur qui doit avoir été beaucoup plus faible, mais qui n'est pas donnée explicitement. La moyenne de la teneur en radium dans ce sédiment et dans celui de la Station 274, analysé par la méthode de fusion, est fixée par Joly à 13,1 au lieu de 36,5 par la méthode de fusion, c'est-à-dire une réduction d'environ deux tiers. Des défauts d'homogénéité dans les sédiments peuvent avoir contribué dans les deux cas à ces différences.

En admettant que les résidus organiques, calcaires et siliceux ont une radioactivité négligeable, la teneur en radium du résidu inorganique serait environ quatre fois plus élevé, peut-être davantage, que la valeur donnée ci-dessus pour la teneur de l'échantillon entier. Le résidu, quelle que soit son origine, doit donc contenir 60 unités de radium ou plus encore.

Challenger (S. du Pacifique). Station 276.

Lat. 13°28' S. Long. 149°30' W. Profondeur 4293 mètres. Argile rouge.

La station est située à quelque 200 kilomètres droit au nord-ouest de l'île Palliser, dans l'archipel des Tuamotu. La teneur en carbonate de calcium, moyenne de deux analyses, est 28,28 %, de sorte que ce sédiment fait la transition entre l'argile rouge et la vase à globigérines. Les organismes siliceux comptent pour 1 %, les minéraux pour 5 % avec magnétite, fragments d'obsidienne, manganèse, sphérules magnétiques.

Les fins-fins font 65,7 %, contenant de très fins cristaux de philippsite, manganèse et matière amorphe.

Le chalut rapporta une demi-tonne de nodules de manganèse, la plupart d'un diamètre de 1 à 2^{cm}, dont les noyaux étaient de roches basaltiques ou de lapilli, vitreux et généralement vésiculaires. Il y avait aussi quelques petits morceaux de ponce.

Une partie de ces échantillons a été soumise au Prof. Odén pour l'analyse mécanique par la méthode de la balance. Il trouva qu'elle consistait surtout en particules relativement grandes. Ainsi 89 % du poids total étaient formés de particules dont les diamètres effectifs étaient compris entre des limites étroites, 0^{mm},010 et 0^{mm},032, avec un maximum bien développé dans la courbe de distribution correspondant au diamètre effectif de 0^{mm},024. La fraction du poids total du sédiment consistant en particules très fines, d'un diamètre effectif inférieur à 0^{mm},004 est seulement de 4 %. La constitution mécanique de cette argile rouge fait un contraste remarquable avec celle de l'argile rouge de l'Atlantique, de la station 5 du *Challenger*, où des particules encore plus fines, d'un diamètre inférieur à 0^{mm},0022, faisaient presque la moitié du poids total.

ANALYSE DU RADIUM

Poids de l'échantillon	4,225 gr.
Radium en solution	165,0
Teneur en radium par gramme de sédiment	39,1

Cette teneur en radium est la plus haute qui ait été trouvée pour le Pacifique et la seconde pour les échantillons analysés ici.

Comme cela a été établi précédemment, Joly a analysé ce dépôt deux fois; la première, par la méthode de solution, donna une teneur en radium de 30 % plus élevée que la nôtre donnée ci-dessus, soit 52,6 unités, tandis que la seconde analyse de Joly par la méthode de fusion donna seulement 11,0 unités.

Grâce à la courtoisie des autorités du British Museum j'ai reçu plus tard pour l'analyser, un bocal encore intact, de sédiment de cette station. Sur plusieurs morceaux je remarquai une stratification nette, une couche presque blanche en

contact avec une autre d'un brun chocolat. Dans les Reports du *Challenger* il n'est pas question d'une telle stratification de sédiment, en dehors de la mention que la teneur en carbonate de calcium est la moyenne de deux analyses. Il ne paraît pas impossible que le dépôt actuel consistait en une couche d'argile rouge superposée à de la vase à globigérines, ou vice versa, et que les deux analyses de Joly aient été faites sur des échantillons où les deux couches, une sans doute plus riche en radium que l'autre (assertion qu'il faut mettre à l'épreuve d'analyses ultérieures), se trouvaient en différentes proportions.

Challenger (S.-E. du Pacifique). Station 296.

Lat. 38°06' S. Long. 88°02' W. Profondeur 3337 mètres. Vase à globigérines.

La station est située à environ 800 kilomètres au sud-ouest de Juan Fernandez et à environ 1600 kilomètres à l'ouest de la côte du Chili.

La teneur en carbonate de calcium est donnée pour 59,8 °/₀, celle des organismes siliceux pour 1 °/₀, celle des minéraux est de 3 °/₀ avec grains de manganèse, magnétite, augite, palagonite et beaucoup d'esquilles d'obsidienne blanche. Les fins-fins font 31,66 °/₀ avec beaucoup de fine matière amorphe et de restes d'organismes siliceux. On a constaté dans la suite que l'on pouvait distinguer dans le tube deux couches, une couche supérieure de couleur paille, et une inférieure d'un brun foncé. La couche supérieure contenait les organismes cités, tandis que dans la couche inférieure les organismes étaient rares et le manganèse abondant. Il y avait dans la vase ramenée par le chalut quelques cailloux volcaniques décelés par le lavage. L'échantillon étudié par l'auteur appartient sans doute à la couche supérieure.

Cette vase a été soumise à une analyse mécanique par Odén. Comme un échantillon de vase à globigérines de l'Atlantique, Station 338 du *Challenger*, elle consiste principalement en deux classes de particules de différentes dimensions (deux maxima dans la courbe), sans particules de dimension intermédiaire. Dans le sédiment du Pacifique, les deux maxima présentaient comme « diamètres effectifs » $0^{mm},085$ et $0^{mm},025$; des particules plus grosses, d'un diamètre dépassant $0^{mm},07$ faisant 4,2 °/₀ et de très fines particules de moins de $0^{mm},008$ faisant 19,3 °/₀ du poids total. Cette structure est sans doute due à la présence de deux espèces de coquilles ou de fragments de coquilles différant nettement l'une de l'autre par leurs formes ou par leurs dimensions.

ANALYSE DU RADIUM

Poids de l'échantillon	5,150 gr.
Radium en solution	25,0
Teneur en radium par gramme de sédiment	4,9

Challenger (S.-E. de l'Atlantique). Station 327.

Lat. 36°48' S. Long. 42°45' W. Profondeur 5303 mètres. Argile rouge.

Cette station, comme la suivante, est située sur la pente nord de la Fosse de l'Argentine, et tombe ainsi près du bord nord de l'aire sud-ouest d'argile rouge de l'Atlantique.

Le sédiment est mentionné comme ne contenant pas de carbonate de chaux, avec 5 °/₀ d'organismes siliceux, 5 °/₀ de minéraux : quartz, ponce, augite, magnétite, et sphérules magnétiques. Les fins-fins font 90 °/₀, matière amorphe avec une grande quantité de petites particules minérales et des fragments d'organismes siliceux. Le sédiment était du type stratifié, les couches supérieures avaient une couleur d'ardoise foncée, tandis que les couches inférieures ayant une teinte de rouge et étaient plus compactes. Absence complète de restes d'organismes calcaires.

ANALYSE DU RADIUM

Poids de l'échantillon	1,232 gr.
Radium en solution	27,0
Teneur en radium par gramme de sédiment	21,9

Challenger (S.-W. de l'Atlantique). Station 328.

Lat. 37°38' S. Long. 39°36' W. Profondeur 5303 mètres. Argile rouge.

Cette station est à environ 250 kilomètres de l'est sud-est de la Station 327 et le sédiment est très semblable ; pas trace de carbonate de calcium, 5 °/₀ d'organismes siliceux, 3 °/₀ de minéraux : quartz, magnétite, ponce, scories basaltiques, feldspath et augite. Les fins-fins font 92 °/₀, matière amorphe avec une grande quantité de petites particules minérales et fragments d'organismes siliceux.

Dans ce cas aussi les couches supérieures étaient légèrement plus foncées que les inférieures. Les particules de scories basaltiques atteignaient dans certains cas un diamètre de 1^{mm}.

ANALYSE DU RADIUM

Poids de l'échantillon	1,323 gr.
Radium en solution	65,6
Teneur en radium par gramme de sédiment	49,5

Cette teneur en radium est la plus haute qui ait été trouvée dans ces recherches. En admettant que les 5 °/₀ d'organismes siliceux et les fragments de ces organismes présents dans les fins-fins soient inactifs, la teneur en radium du résidu dépasserait bien 50 unités.

Cet échantillon termine la série des dépôts du *Challenger* analysés au sujet du radium dans cette étude. Un sédiment de plus du *Challenger*, de la Stn. 256, située dans la partie nord-est du Pacifique, avait été aussi étudié, et le premier

échantillon de cette localité donna une teneur en radium tout à fait anormalement élevée, puisqu'elle était environ quarante fois plus élevée que la plus haute teneur atteinte ici. Des mesures de contrôle de la même solution, répétées à des intervalles de plusieurs mois, donnèrent pratiquement les mêmes résultats. D'autre part, un échantillon de contrôle pris dans le même lot de sédiment, donna une teneur en radium très médiocre. Grâce à la courtoisie des autorités du British Museum, j'ai reçu d'autres échantillons du même sédiment qui n'avaient pas été étudiés jusqu'ici au point de vue du radium. Aussitôt que cela sera possible ce sédiment fera le sujet d'une publication spéciale. L'explication de cette teneur en radium anormalement élevée, qui paraît la plus probable, est qu'elle peut être due à un seul fragment de quelque minéral très actif se trouvant dans le premier échantillon du dépôt analysé.

Discussion

Les résultats de ce travail sont résumés dans le tableau II, dont la première partie concerne les dépôts de l'Atlantique, tandis que la seconde concerne ceux du Pacifique et de l'Océan Indien; dans chaque partie les sédiments sont rangés par ordre de profondeurs croissantes. La sixième colonne donne la « profondeur » approximative dans le sédiment, de chaque portion telle qu'elle a été définie précédemment. La septième colonne donne la teneur en carbonate de calcium d'après les analyses de Murray et Renard ou de Thoulet. Pour quelques échantillons de la *Princesse-Alice II* on a pris les déterminations faites par l'auteur d'après la quantité d'acide carbonique chassé par l'acide chlorhydrique. Seulement les derniers chiffres s'appliquent à la portion identique du cylindre qui a été analysé pour le radium et pour l'acide carbonique

La huitième colonne du tableau donne la teneur en radium en unités usuelles (bimillionièmes ou 10^{-12}). Dans les cas où des échantillons de contrôle ont été analysés, la valeur moyenne est marquée d'un astérisque. La dernière colonne donne la teneur en radium du résidu inorganique de chaque sédiment, c'est-à-dire après avoir retranché le poids des restes calcaires et siliceux admis comme inactifs, ce qui est sans doute à peu près mais pas exactement vrai. Pour cette raison, et aussi parce que le pourcentage de restes calcaires et siliceux actuellement présents est plus élevé que celui employé comme base des calculs, les chiffres de la dernière colonne ont nécessairement un caractère approximatif.

Le tableau II permet de répondre à quelques-unes des questions qui ont fait entreprendre ces recherches.

La teneur en radium des dépôts de mer profonde est, on le voit, en général beaucoup plus élevée que celle des formations correspondantes à terre. Sur neuf échantillons d'argile rouge de l'Atlantique, cinq ont une teneur supérieure à

TABLEAU II.

Station	Latitude	Longitude	Profondeur en mètres	Sédiment	Profondeur en cm.	$CaCO_3$ %	Ra.10^{-12} par gramme	Ra dans résidu
Ch.[1] 5	24° 20' N	24° 28' W	5011	Argile rouge		12	4,3	5
Ch. 327	36° 48' S	42° 45' W	5303	Argile rouge		0	21,9	23,0
Ch. 328	37° 38' N	39° 36' W	5303	Argile rouge		0	49,5	52
P.A. 2081	26° 37' N	36° 35' W	5382	Argile rouge	2		9,3*	
— —	—	—	—	—	7		8,9*	
— —	—	—	—	—	17		4,4*	
Ch. 27	22° 49' N	65° 19' W	5413	Argile rouge		3,3	1,5	1,5
P.A. 1798	32° 18' N	23° 58' W	5422	Vase à globigérines	2	54	1,4	2,5
— —	—	—	—	—	14	34	2,2	3
— —	—	—	—	—	23,5	56	3,9	7
P.A. 1226	30° 50' N	27° 27' W	5430	Argile rouge	10	14	2,1	2,5
P.A. 1160	14° 00' N	30° 01' W	5443	Argile rouge	8	19	3,7	4,5
— —	—	—	—	—	14	19	4,3	5
P.A. 2075	25° 57' N	35° 08' W	5580	Argile rouge	2		8,5*	
— —	—	—	—	—	14,5		6,7	
P.A. 1432	43° 08' N	19° 52' W	5930	Vase à globigérines	10	36	4,4*	7
P.A. 2868	43° 05' N	19° 41' W	5940	Vase à globigérines	2	52	3,3*	6,5
— —	—	—	—	—	18	31	3,0*	10
P.A. 1169	12° 05' N	33° 31' W	6035	Argile rouge	12,5	1	7,8	8
— —	—	—	—	—	18,5	1	30,3	30,5
Ch. 296	38° 06' S	88° 02' W	3337	Vase à globigérines		64,3	4,9	7,5
Ch. 276	13° 28' S	149° 30' W	4298	Argile rouge		28,3	39,1	55
Ch. 272	3° 48' S	152° 56' W	4755	Vase à radiolaires		10,2	18,3	60
Ch. 160	42° 42' S	134° 10' E	4755	Argile rouge		18,6	9,6	12
Ch. 171A	25° 05' S	172° 56' W	5304	Argile rouge		0	13,1	13
Ch. 244	35° 22' N	169° 53' E	5303	Argile rouge		0	27,2	27
Ch. 239	35° 18' N	144° 08' E	6629	Argile rouge		0	5,4	5,5
Ch. 225	11° 24' N	143° 16' E	8184	Vase à radiolaires		0	8,0	40

[1] *Ch.* désigne le *Challenger*, *P.A.* la *Princesse-Alice II.*

8 unités, tandis que sur sept échantillons d'argile rouge ou de vase à radiolaires des autres océans, tous sauf un, atteignent ou surpassent la même limite. En outre, en prenant comme limite supérieure de la teneur en radium des roches continentales 22 unités[1], cinq des seize échantillons de sédiments abyssaux analysés ont donné pratiquement des résultats aussi élevés ou plus élevés, dans un cas plus de deux fois le maximum continental. En admettant que la vase à radiolaires est de l'argile rouge diluée avec des restes d'organismes siliceux, nous trouvons que l'argile rouge contenue dans les deux échantillons analysés de vase à radiolaires, dépassait la limite de 22 unités, et dans un cas on trouvait le maximum de teneur, avec 60 unités. Une valeur encore plus grande, de 90 unités, doit être assignée sur les mêmes bases, à la vase à radiolaires de la station 274 du *Challenger*, de 5030 mètres, analysée par Joly, si nous faisons une réduction de 30 % dans sa première valeur obtenue par la méthode de fusion, comme cela paraît plausible d'après ces résultats, et ensuite si nous admettons que les restes organiques s'élèvent dans le dépôt à 60 % du matériel inactif.

D'autre part, les résultats prouvent que l'argile rouge n'est pas nécessairement riche en radium par elle-même. Quatre échantillons de l'Atlantique Nord ont moins de 5 unités et dans un cas, Stn. 27 du *Challenger*, on a trouvé seulement 1,5 unités, ce qui n'est pas plus que la moyenne de Joly pour les roches sédimentaires des continents.

Les quelques échantillons de vase à globigérines analysés ont une teneur en radium médiocre ou basse. Même si nous retranchons la matière calcaire qu'ils contiennent, comme probablement inactive, le résidu est seulement dans un cas, celui de la « plus profonde » portion de la Stn. 2868 de la *Princesse-Alice II*, supérieur à la limite de 8 unités. Même dans la vase à globigérines prise d'une profondeur de presque 6000 m., Stn. 1432 et 2868 de la *Princesse-Alice II*, le résidu, admis comme étant de l'argile rouge, n'est que médiocrement riche en radium.

Teneur en radium et profondeur. Un coup d'œil sur la huitième colonne du tableau II suffit pour réfuter la supposition qu'il y a une augmentation générale de la teneur en radium avec celle de la profondeur. Dans l'Atlantique, la plus haute teneur se trouve à la profondeur médiocre de 5300 mètres, tandis que dans le Pacifique l'argile rouge de la plus faible profondeur présentait la teneur maxima, et la plus grande profondeur la plus basse teneur en radium.

Carbonate de calcium et teneur en radium. Nous n'avons ici aucune base pour admettre une relation entre le calcium et le radium dans l'argile rouge. Cela est confirmé par les deux Stations 239 et 276 du *Challenger*, dans le Pacifique ; la première qui n'a pas trace de carbonate de calcium contient très peu de radium, tandis que la seconde présente le maximum pour la teneur en radium dans le

[1] D'après les mesures de Hirschi sur la syénite de Piz Giuf.

Pacifique, avec une proportion de carbonate voisine de la limite inférieure caractéristique de la vase à globigérines. La suggestion de Joly que la teneur en radium de l'argile rouge comparée à celle de la vase à globigérines peut servir d'indicateur pour la vitesse relative avec laquelle les différents dépôts s'accumulent, ne peut donc pas être acceptée.

Teneur en radium et âge des dépôts. Les résultats de l'analyse fractionnée de six échantillons cylindriques du Prince de Monaco, prouvent que le radium contenu dans différentes couches d'un dépôt peut montrer des variations considérables suivant la « profondeur » au-dessous de la surface libre, mais aussi qu'il peut rester pratiquement constant dans toute la longueur soumise à l'analyse. Quand on trouve des variations, elles sont d'un caractère tout à fait irrégulier, se manifestant dans certains cas par une augmentation, dans d'autres par une diminution avec la profondeur croissante. Le seul cas d'une augmentation d'apparence régulière avec la « profondeur » est fourni par l'échantillon de la Stn. 1798 de la *PRINCESSE-ALICE II*, mais aussi bien l'aspect du cylindre que sa teneur variable en carbonate de calcium montre qu'il est du type stratifié, où une régularité dans la teneur en radium peut le moins être attendue.

Les résultats obtenus n'indiquent aucune espèce d'effet de l'âge sur la teneur en radium, tel qu'une séparation chimique du radium de ses éléments voisins pourrait causer. Par conséquent tous les espoirs de déterminations de l'âge des sédiments par des mesures des processus de désintégration radioactive doivent être abandonnés. D'un autre côté les résultats de l'analyse fractionnée donnés ici pour le radium et pour le carbonate de calcium, constituent des preuves additionnelles de la fréquence possible de la structure stratifiée des sédiments de mer profonde.

Dans le cas des deux groupes de stations de la *PRINCESSE-ALICE II* pris à courte distance l'un de l'autre, Stn. 1432 et 2868, d'une part, et 2075 et 2081 de l'autre, la teneur en radium paraît être à très peu de chose près la même. Dans le cas du dernier groupe il est intéressant de noter que, pour les deux stations, l'analyse du radium a montré une couche de moindre activité à une certaine profondeur au-dessous des couches superficielles d'une teneur plus élevée.

La distribution géographique du radium dans les dépôts de mer profonde. Le nombre des localités dont on a analysé des échantillons est beaucoup trop limité pour permettre des conclusions précises. Autant que peuvent le prouver les chiffres du tableau II, l'argile rouge contient beaucoup moins de radium dans l'Atlantique Nord que dans les autres océans. On peut dire la même chose pour la teneur en manganèse, mais les preuves sont trop insuffisantes pour permettre d'établir une relation entre les teneurs de ces deux éléments. Qu'il puisse y avoir des variations considérables dans la teneur en radium en des points relativement rapprochés, cela est démontré par les Stations 1160 et 1169 de la *PRINCESSE-ALICE II* et aussi, à un moindre degré, par les Stns. 327 et 328 du *CHALLENGER*.

FIG. 3. Carte montrant la teneur en radium des dépôts de mer profonde. Profondeur en mètres.

a 5303 m.	*e* 5413 m.	*i* 5580 m.	*m* 5011 m.	*q* 4755 m.
b 4755 —	*f* 5203 —	*j* 6035 —	*n* 5422 —	*r* 8184 —
c 4298 —	*g* 5303 —	*k* 5443 —	*o* 5930 —	*s* 6629 —
d 3337 —	*h* 5362 —	*l* 5439 —	*p* 5900 —	*t* 5303 —

Enfin, il y a des raisons d'admettre que la teneur en radium est en général plus élevée à très grande distance des côtes continentales.

Un exposé graphique de la distribution géographique du radium dans les dépôts de mer profonde est donné dans la figure 3, où des lignes dirigées[1] vers le haut des localités d'où proviennent les échantillons analysés, donnent la teneur en radium, $1^{mm}=2.10^{-12}$ gr. Ra par gramme de sédiment. Les lignes brisées dirigées en bas représentent la teneur en radium calculée en mêmes unités dans le résidu de quelques échantillons; les squelettes siliceux (radiolaires) étant admis comme inactifs.

Origine du radium sous-marin.

A la lumière de la discussion précédente nous pouvons maintenant aborder la question : d'où vient le radium des sédiments abyssaux ?

Le fait que des échantillons d'argile rouge, d'une teneur en radium aussi faible que celui de la Stn. 27 du *CHALLENGER*, ont été trouvés, constitue un fort argument contre l'hypothèse que le radium de l'argile rouge résulte de quelque processus d'extraction ou de précipitation d'éléments radioactifs dissous dans toute la colonne d'eau de l'océan qui couvre le sol de l'aire abyssale. Pour expliquer, dans l'hypothèse de la précipitation, les grandes différences trouvées dans diverses couches de l'échantillon cylindrique de la Station 1169 de la *PRINCESSE-ALICE II* et aussi le contraste frappant entre ce dépôt et celui de la Station 1160 voisine, on serait forcé d'admettre que des changements considérables ont eu lieu à la première Station dans le niveau du sol sous-marin.

Ajoutons à cela les difficultés que, au point de vue chimique, cette hypothèse d'une précipitation non seulement du radium mais aussi de l'uranium dissous dans l'eau de mer implique, et nous nous sentirons autorisés à rejeter cette hypothèse qui admet que le radium abyssal est un produit de la dénudation des continents.

Laissant de côté, comme également improbable, la possibilité que le radium des dépôts de mer profonde soit d'origine cosmique, il reste l'hypothèse de l'origine volcanique comme la seule plausible.

A l'appui de cette explication nous pouvons remarquer ce fait, que les produits volcaniques jouent un grand rôle dans la composition de la plupart des échantillons d'argile rouge et de vase à radiolaires. Les dépôts qui ont été trouvés riches en radium par l'analyse se trouvent contenir aussi des produits volcaniques.

[1] Pour les Stations 1452 et 2868 de la *PRINCESSE-ALICE II* dont les positions coïncident pratiquement sur la carte de la fig. 3, la ligne représentant la teneur en radium du dernier dépôt a été tirée vers le bas du même point de départ.

L'exemple des Stations 1160 et 1169 de la *PRINCESSE-ALICE II* peut encore être cité, un échantillon sans produits volcaniques et relativement pauvre en radium, l'autre remarquablement riche en produits volcaniques et (dans sa partie la plus « profonde ») montrant la teneur en radium la plus élevée de tous les échantillons de l'Atlantique Nord. La grande différence dans la teneur en radium suivant la longueur examinée du cylindre de la dernière station s'expliquerait le plus aisément en l'attribuant à une époque de grande activité volcanique quelque part dans le voisinage, coïncidant avec le temps où la matière radioactive s'accumulait.

Une activité volcanique et séismique prévaut spécialement dans le Pacifique, où se trouve la plus grande aire d'argile rouge, et où, en général, la teneur en radium est aussi très élevée. D'autre part, on doit admettre que la présence de produits volcaniques n'est pas nécessairement liée à une haute teneur en radium, ce que montre la Stn. 27 du *CHALLENGER*.

En ce qui concerne la localisation des volcans, qu'on peut admettre avoir fourni des matériaux radioactifs aux sédiments abyssaux, on a évidemment le choix entre des cratères sous-marins et d'autres situés sur les îles océaniques ou sur les côtes continentales. Que cette matière radioactive doive être largement éolienne, c'est-à-dire transportée par des courants atmosphériques sous forme de très fine poussière volcanique, ne paraît pas probable, car cela exigerait une distribution beaucoup plus uniforme du radium sur l'aire d'argile rouge de tous les océans que celle qui est trouvée actuellement par les analyses. On peut concevoir un transport depuis les continents par des ponces flottantes ou par de très fines cendres volcaniques en suspension dans l'eau, mais le fait que des produits volcaniques sont très répandus parmi les « minéraux » des analyses de Murray, plaide mieux pour une origine locale, c'est-à-dire des cratères situés sur le sol sous-marin, comme cela a été suggéré à une époque par Sir John Murray.

La principale objection qu'on peut élever contre l'hypothèse de l'origine volcanique paraît être le fait que presque toutes les laves et autres produits volcaniques étudiés au point de vue du radium, ont donné de très faibles valeurs, exception faite pour quelques laves du Vésuve analysées par Joly, qui ont donné des valeurs moyennes de 14 et 19 unités. Les magmas basaltiques des îles volcaniques, en particulier, ont donné une très faible teneur en radium. Pour des raisons évidentes les produits des volcans de l'aire abyssale n'ont pu être étudiés au point de vue du radium, de telle sorte qu'à cet égard on peut les faire bénéficier du doute.

Ainsi, pour l'ensemble des raisons présentées ci-dessus, les géologues sont opposés à toute hypothèse assignant une grande teneur en matière radioactive au magma qu'on suppose se trouver à une courte distance au-dessous du sol sous-marin. G. Kirsch, avec qui l'auteur a correspondu sur ces questions, est enclin à penser que la source du radium sous-marin est due à des intrusions de roches

acides dans une orogénie récente, c'est-à-dire au-dessous des arêtes subocéaniques où on admet que se trouve une couche de « sial » d'environ 10 km d'épaisseur [1].

Il y a un dernier point à considérer dans cette question. Le magma chaud ou les autres matières fondues éjectées d'un cratère sous-marin à de grandes profondeurs, rencontre des masses d'eau sous une haute pression, qui sont portées localement à de très hautes températures au point de rencontre. On peut donc admettre un processus hydrolytique qui peut transformer une partie des matières expulsées sous une forme soluble, tandis que la matière radioactive peut rester à l'état insoluble et être distribuée sur la surface environnante du sol sous-marin par les courants nés de l'éruption. De cette manière, le radium et ses éléments parents peuvent se concentrer dans le résidu déposé après que le processus de dissolution des produits volcaniques décomposés a cessé. Ce point sera traité dans un autre mémoire.

Indications pour de futures recherches.

Une expérience acquise au cours de ces recherches me paraît demander un développement de ce travail dans les directions suivantes.

Pour les recherches sur la radioactivité des dépôts de mer profonde, il est de première importance que les échantillons soient de forme cylindrique, d'aussi grande longueur que possible, et que le rapport exact entre cette longueur et la longueur *in situ* ou la « profondeur » au-dessous de la surface du sédiment, soit déterminé.

Si possible, on recueillera trois (ou plus) échantillons cylindriques pris de la même localité, pour vérifier si la radioactivité montre des variations locales.

Des sections horizontales de hauteur aussi faible que possible seront prélevées sur ces échantillons cylindriques pour l'analyse. Chaque section sera coupée verticalement en trois parties au moins, dont deux seront analysées de la même manière et la troisième conservée pour une analyse de contrôle.

La méthode choisie pour l'analyse doit être une dans laquelle le radium (et éventuellement le thorium), est mesuré séparément par la teneur en émanation, des mesures de la radioactivité intégrale, dans lesquelles l'ionisation est déterminé par radiations émises de l'échantillon non décomposé ayant peu de valeur.

Si on adopte la « méthode de fusion », on doit prendre soin d'étudier le pouvoir d'émanation des échantillons, en vue de s'assurer que la quantité d'équilibre d'émanation est réellement présente au moment de la mesure et est tranférée dans la chambre d'ionisation.

[1] Andrée, dans son excellent livre *Geologie des Meeresbodens*, p. 464, Berlin 1920, exprime des idées semblables.

Une détermination, au moins approximative, de la teneur en carbonate devra être faite pour chaque portion analysée, en déterminant le poids de l'acide carbonique chassé par de l'acide chlorhydrique.

Pour les échantillons ayant une forte teneur en radium on prendra plusieurs portions le long du cylindre pour savoir comment varie la teneur en radium avec la « profondeur » au-dessous de la surface libre. Quelques portions seront soumises à une analyse mécanique et microscopique avant la décomposition, pour s'assurer s'il y a des particules isolées à forte radioactivité et, si possible, de quelle espèce sont ces particules minérales. La méthode recommandée par Kirsch, c'est-à-dire de répandre l'échantillon sur une plaque photographique pour localiser les fragments actifs, peut être avantageuse.

On peut aussi occasionnellement entreprendre la séparation de l'échantillon des restes des organismes siliceux et calcaires pour déterminer la radioactivité particulière du résidu inorganique.

Pour des échantillons de très haute teneur en radium on devra essayer de déterminer quantitativement la teneur en uranium.

On mesurera la quantité de radium et d'émanation de radium de l'eau de mer qui est près du fond dans la région abyssale.

RÉSUMÉ

1. Vingt dépôts de mer profonde, la plupart d'argile rouge, provenant de l'Atlantique et du Pacifique, des collections de la *PRINCESSE-ALICE II* déposées au Musée Océanographique de Monaco et des collections du *CHALLENGER* au British Museum, ont été analysés au point de vue du radium par la méthode de solution.

2. Les résultats montrent que les sédiments abyssaux sont généralement, mais pas toujours, riches en radium, leur teneur variant d'une et demie à cinquante unités de la douzième décimale.

3. Une analyse fractionnée de six échantillons cylindriques de la collection du Musée de Monaco, montre que la teneur en radium varie, dans la plupart des cas, d'une façon irrégulière avec l'âge, sans indiquer que des changements avec l'âge soient dûs à une diminution par désintégration radioactive du radium séparé de ses éléments parents, le précédant dans la série radioactive.

4. On admet que les résultats appuient l'hypothèse que le radium sous-marin est principalement ou exclusivement d'origine volcanique et non clastique, c'est-à-dire qu'il ne provient pas du radium (et de l'uranium) supposé dissous dans l'eau de mer après dénudation des continents.

5. Des indications sont données pour les futures recherches.

APPENDICE

Analyse mécanique de l'argile rouge.

Murray et Renard ont fait une détermination approximative de la composition mécanique des dépôts de l'expédition du *Challenger* par suspension des échantillons dans l'eau et, après agitation, en séparant les « fine washings », particules très fines (fins-fins de M. Thoulet), des organismes siliceux et des « minéraux » par décantation.

Thoulet, sur un matériel limité au nord-est de l'Atlantique, a fait une analyse mécanique beaucoup plus complète au moyen de tamis à mailles différentes.

Une méthode encore plus perfectionnée a été développée par S. Odén d'Upsal, actuellement à Stockholm, qui a construit une balance enregistreuse, qui enregistre l'augmentation de poids avec le temps, des sédiments se déposant sur un de ses plateaux, tenu immergé sous une colonne d'eau dans laquelle le matériel à analyser a été mis en suspension. Odén a aussi développé l'analyse mathématique des « courbes de sédimentation » obtenues avec cet instrument, permettant de calculer le rayon [1] effectif des particules faisant partie du dépôt [2]. Une « courbe de distribution » représentative de la composition mécanique du sédiment est obtenue en rapportant la quantité de particules présentes d'un certain rayon effectif à la dernière valeur.

Après une conférence avec l'auteur de ce mémoire, M. Odén entreprit aimablement l'examen, par ces moyens, de quelques échantillons de l'expédition du *Challenger* qui avaient été mis à ma disposition pour d'autres recherches. Les courbes de distribution obtenues avec deux échantillons d'argile rouge, un de l'Atlantique Nord, l'autre du Pacifique, sont reproduites ici (Fig. 4 *a* et 4 *b*). La différence de constitution est frappante ; tandis que dans le Pacifique les particules sont relativement grandes et assez homogènes en grandeur, la « courbe de

[1] Le radius ou rayon effectif est celui que devrait avoir une particule sphérique de même poids spécifique et de même masse, qui tomberait dans l'eau avec la même vitesse que la particule actuelle aux formes irrégulières.

[2] Un traitement mathématique simplifié de telles courbes a été récemment décrit par Stina Gripenberg, Soc. scient. Fenn. Com. Phys.-Math. IV, 18. Helsingfors 1928.

distribution » (Fig. 4 *a*) ayant un maximum très prononcé pour un rayon effectif d'environ $0^{mm},012$; dans l'argile rouge de l'Atlantique les particules sont beaucoup

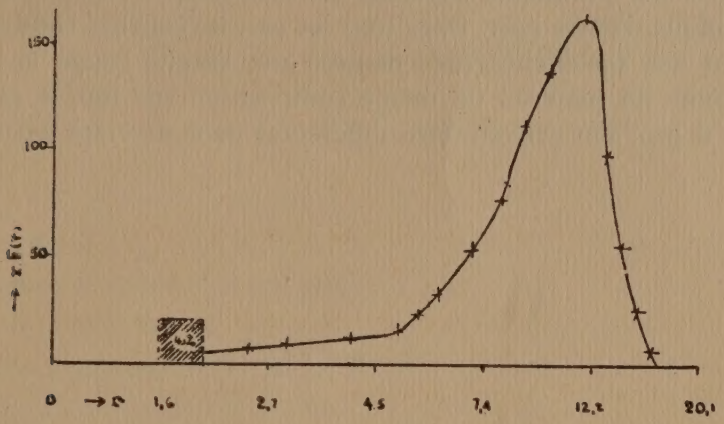

FIG. 4 *a*. Grandeur des particules dans l'argile rouge du Pacifique.

plus variées en grandeur. La « courbe de distribution » (Fig. 4 *b*) pour ce sédiment est à peu près horizontale, sans aucun maximum, et presque la moitié du poids total est composé de particules trop fines pour un fractionnement du type employé ici, leur rayon effectif étant inférieur à $0^{mm},0011$. Pour plus de détails concernant aussi les courbes de distribution des échantillons de vase à globigérines et de vase à radiolaires, auxquelles il a été fait allusion précédemment dans ce mémoire, voir le mémoire original de Odén [1].

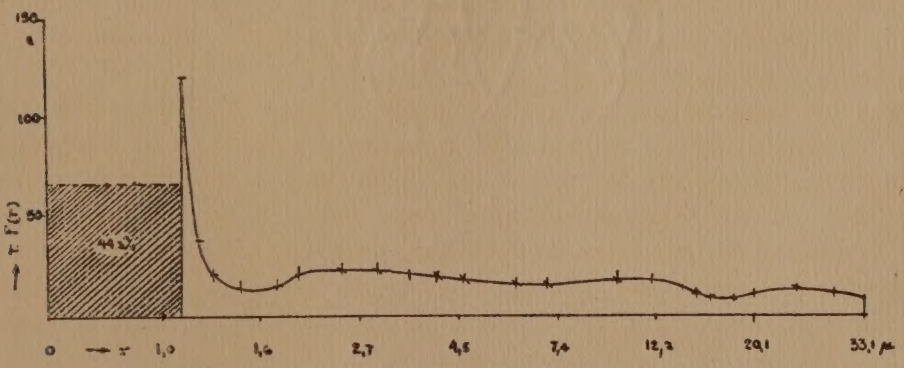

FIG. 4 *b*. Grandeur des particules dans l'argile rouge de l'Atlantique.

[1] Proc. R. Soc. Edinburgh, 1915-16, vol. 36, p. 219.

Il serait prématuré d'inférer des résultats d'Odén, obtenus seulement avec deux échantillons d'argile rouge, que les différences trouvées sont réellement caractéristiques des sédiments abyssaux de l'Atlantique Nord, d'une part, et de ceux du Pacifique d'autre part. Dans tous les cas, les courbes confirment l'impression résultant des recherches précédentes, que l'argile rouge ne peut pas être regardée comme un matériel de même composition sur tout le globe et que les sources d'où il provient peuvent être différentes dans diverses parties de l'Océan.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction	3
Le radium sous-marin et son origine	6
Plan des recherches	14
Récolte et préparation des échantillons	18
Dispositif expérimental et mesures	22
Résultats de l'analyse du radium des dépôts de mer profonde	25
Discussion	39
Origine du radium sous-marin	44
Indications pour de futures recherches	46
Résumé	47
Appendice : Analyse mécanique de l'argile rouge	48